UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE D'ALGER

Année 1919. — N° 1

Travail du Laboratoire de Physique Médicale
de l'Université d'Alger (M. le Professeur DUFOUR)

ÉTUDES
sur
L'OPHTALMOSCOPIE

THÈSE
POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement, le 5 avril 1919

PAR

Abdelkader SMATI
EX-PRÉPARATEUR DE PHYSIOLOGIE
EX-AIDE DE CLINIQUE OPHTALMOLOGIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE D'ALGER
Né à Tittest (Constantine) le 1er décembre 1892

MEMBRES DU JURY.

MM. DUFOUR, *Professeur de Physique médicale*..... PRÉSIDENT.
MALOSSE, TH., *Professeur de Chimie médicale et de toxicologie*..... } JUGES.
HÉRAIL, *Professeur de matière médicale et thérapeutique* }

ALGER
JULES CARBONEL, ÉDITEUR
PLACE DU GOUVERNEMENT

1919

ÉTUDES

sur

L'OPHTALMOSCOPIE

UNIVERSITÉ D'ALGER
FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE D'ALGER

Année 1919. — N° 1

Travail du Laboratoire de Physique Médicale
de l'Université d'Alger (M. le Professeur DUFOUR)

ÉTUDES

sur

L'OPHTALMOSCOPIE

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

THÈSE

POUR LE DOCTORAT EN MÉDECINE

présentée et soutenue publiquement, le 5 avril 1919

PAR

Abdelkader SMATI

EX-PRÉPARATEUR DE PHYSIOLOGIE
EX-AIDE DE CLINIQUE OPHTALMOLOGIQUE A LA FACULTÉ DE MÉDECINE D'ALGER
Né à Tittest (Constantine) le 1er décembre 1892

MEMBRES DU JURY :

MM. DUFOUR, *Professeur de Physique médicale*..... PRÉSIDENT.
MALOSSE, TH., *Professeur de Chimie médicale et de toxicologie*..... } JUGES.
HÉRAIL, *Professeur de matière médicale et thérapeutique* }

NOTA. — La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbation aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

UNIVERSITÉ D'ALGER

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

DOYEN..... MM. CURTILLET (✻, I. ✿).
ASSESSEUR..... TRABUT (✻, I. ✿, O. ❁).

PROFESSEURS

Anatomie	MM.	WEBER (✻, I. ✿).
Anatomie pathologique		POUJOL (I. ✿).
Chimie biologique		X...
Chimie médicale et toxicologie		MALOSSE (I. ✿, ◎).
Clinique médicale		ARDIN-DELTEIL (I. ✿).
Clinique chirurgicale		VINCENT (I. ✿).
Clinique des maladies des pays chauds et des maladies syphilitiques et cutanées		X...
Clinique chirurgicale infantile et d'orthopédie		CURTILLET (✻, I. ✿)
Clinique obstétricale		ROUVIER (✻, I. ✿).
Clinique ophtalmologique		CANGE (✻, A. ✿).
Clinique médicale infantile		CRESPIN (I. ✿).
Histoire naturelle médicale et parasitologie		TRABUT, (✻, I. ✿, O. ❁).
Histologie		ARGAUD (I. ✿).
Hygiène et médecine légale		X...
Matière médicale et thérapeutique		HÉRAIL (I. ✿).
Pathologie générale, microbiologie		SOULIÉ (✻, I. ✿).
Pharmacie		BATTANDIER (I. ✿).
Physiologie		REY (✻, I. ✿).
Physique médicale		DUFOUR (I. ✿).

PROFESSEUR HONORAIRE

M. A. TREILLE (O. ✻).

CHARGÉS DE COURS

MM. GILLOT (I. ✿)
LEBLANC (✻, A. ✿).

AGREGÉS

Médecine	MM.	GILLOT (I. ✿).
Physiologie		BATTEZ (✻).

CHARGÉS DES FONCTIONS D'AGRÈGÉ

Anatomie	MM.	LEBLANC (✻, A. ✿).
Chirurgie		E.CABANES (✻). LOMBARD.
Médecine		RAYNAUD. MONTPELLIER.
Accouchements		FUSTER (✻, A. ✿).
Chimie		H. MALOSSE (A. ✿).
Pharmacie et matière médicale		MUSSO.
Parasitologie et sciences naturelles appliquées à la médecine		NÈGRE.

NOTA. — La Faculté n'entend donner aucune approbation ni improbatiou aux opinions émises dans les thèses ; ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs.

A la Mémoire

DES MUSULMANS ALGÉRIENS

Morts pour la France.

« En souvenir ému et en faible
témoignage de reconnaissance. »

A la mémoire de mon grand-oncle

MOHAMED-SAID BENALYCHERIF

Bach-Agha de l'Oued-Sahel (Constantine)

A la Mémoire de mon Père

L'AGHA SMATI AHMED BENDJEDDOU

Commandeur de la Légion d'Honneur

A la Mémoire de mon Oncle

CHÉRIF *BENALYCHÉRIF*

Commandeur de la Légion d'Honneur

« Il aurait été si heureux de me voir
parvenir au terme de mes études. »

*

A MA MÈRE

A MES SŒURS

A MES FRÈRES

A MES COUSINS :

AHMED, MOHAMED, ALLAOUA et SAID BENALYCHÉRIF

« Bien affectueusement. »

A MES PARENTS

A M. JONNART

Gouverneur Général de l'Algérie

« Respectueux hommages. »

A mon cher Maître et Président de thèse :

M. le Professeur DUFOUR
Professeur de Physique Médicale

« Témoignage de profonde reconnaissance
et d'affectueux dévouement. »

À mes Juges !

MM. MALOSSE, Professeur de Chimie médicale
et de Toxicologie.

HÉRAIL, Professeur de Matière Médicale
et de Thérapeutique

A MES MAITRES de la Faculté d'Alger

et de l'Hôpital Civil de Mustapha

A MES AMIS

AVANT-PROPOS

En accomplissant aujourd'hui le dernier acte de ma scolarité, c'est pour moi un bien agréable devoir que d'exprimer toute ma reconnaissance à tous ceux qui furent mes maîtres au cours de mes études médicales à la Faculté et à l'Hôpital.

Je veux tout d'abord et avant tout adresser l'expression de ma profonde gratitude à M. le Professeur Dufour. C'est de lui que j'ai reçu la première initiation de physique médicale et d'ophtalmologie. Sa bonté pour moi, ne s'est pas démentie, depuis l'époque déjà lointaine où il me connut pour la première fois comme étudiant de seconde année, jusqu'à la soutenance de cette thèse. Pour mon instruction, son temps ne me fut jamais ménagé. Son laboratoire, sa bibliothèque personnelle et ses appareils de réfraction ont toujours été mis à ma disposition, principalement au cours de la préparation du présent travail.

Je tiens aussi à assurer de ma profonde reconnaissance MM. les professeurs Vincent, Crespin, *qui furent mes premiers maîtres ; M. le professeur* Rouvier, *qui a bien voulu m'agréer dans les fonctions d'interne dans son service de la maternité ; MM. les professeurs* Curtillet, Ardin-Delteil, Weber, Argaud, Poujol, Battez, Hérail, Cange, Leblanc, Gillot, Nègre ; *M. le professeur* Rey, *qui me fit l'honneur de m'appeler au laboratoire de physiologie comme préparateur durant mes deux dernières années d'études. J'ai été très sensible à ses marques de bienveil-*

lance et de sympathie ; je l'en remercie vivement. Je ne saurais oublier MM. les docteurs Moggi, Bernasconi, Ferrari, H. Aboulker, Pélissier, Montpellier, Gagé, Benhamou, *qui m'ont toujours accueilli dans leurs services avec bienveillance ; M. le docteur* Cochez, *qui était pour moi un maître en même temps qu'un ami ; Mlle* Vandomber, *maîtresse sage-femme à la Maternité, qui, durant mon passage dans le service, m'a guidé de ses conseils éclairés.*

Je me souviendrai toujours de mes excellents amis : M^e Aït-Kaci, *du barreau de Sétif ; M^e* Laïmèche, *du barreau de Mostaganem ; les docteurs* Lehtihet, Bourgeois, Adjali, Bensalem *et* Stambouli. *Qu'ils soient assurés de mes sentiments affectueux et de mon indéfectible attachement.*

Que tous mes amis et camarades d'études soient assurés de ma sympathie, particulièrement : Mlles Peytral *et* Champeil ; *les docteurs* Aly Zaky, *O.* ✻ ; Bendjelloul, Takarli, Bentami, Ben Mesli, Abdelouahab, Alioua, Benkritly, Mansoury, Boumali, Lagrot *et* Garrez, *ainsi que M^e* Ahmed Kalla *et* Abdelhadi Ben Smaïa, *étudiant au P. C. N.*

Je garde enfin le souvenir ému de mes camarades les docteurs Charnot, Sesini, Zagrewski, *tombés au champ d'honneur, et j'adresse un respectueux hommage à la mémoire de mon maître et ami le docteur* Bailleux, *qui a succombé prématurément, victime du devoir professionnel.*

INTRODUCTION

De sérieux progrès ont été récemment accomplis à l'étranger dans la théorie et dans la construction des ophtalmoscopes.

Les appareils nouveaux, qui ont déjà donné de beaux résultats, sont appelés à rendre de grands services aux ophtalmologistes : ils permettent l'observation de certains détails intéressants qui échappent à l'examen ophtalmologique tel qu'il est pratiqué habituellement.

Notre maître, M. le professeur Dufour, nous faisait remarquer, il y a longtemps déjà, l'insuffisance des ouvrages français traitant de l'ophtalmoscopie. Cependant, l'usage de ces instruments perfectionnés commence à se répandre en France, puisqu'on les trouve dans les grandes cliniques ophtalmologiques.

Nous avons pensé faire œuvre utile en exposant les principes sur lesquels repose cette ophtalmoscopie perfectionnée.

Les progrès que nous signalons sont dus, d'une part, au perfectionnement des théories de l'optique géométrique et, d'autre part, à l'utilisation bien comprise, des dernières ressources techniques de l'industrie moderne. (Construction des lentilles asphériques, fabrication des lampes à incandescence, de très petite surface éclairante et de grand éclat.)

Nous étudierons successivement : dans la 1re partie,

l'optique géométrique : l'insuffisance de la théorie ordinaire (chap. I), les notions fondamentales habituellement enseignées (chap. II), et, enfin, le rôle des diaphragmes (chap. III), sur lequel on n'insiste pas ordinairement, et qui, cependant, présente un intérêt de premier ordre et qui mériterait de prendre place dans l'enseignement.

Dans la 2e partie : les principes généraux de l'ophtalmoscopie et les ophtalmoscopes ordinaires (chap. I), l'ophtalmoscopie sans reflets, ni voile (chap. II).

PREMIÈRE PARTIE

Optique Géométrique

CHAPITRE PREMIER

Insuffisance de la théorie ordinaire

Ordinairement, pour établir les propriétés des dioptres et des systèmes centrés, on admet que, après réfraction, les rayons émanés d'un point, se réunissent approximativement en un même point, et qu'à chaque point de l'image correspond un point de l'objet.

Cette manière de concevoir les choses, encore très répandue, est incorrecte. On suppose un diaphragme très petit et des rayons lumineux très peu inclinés sur l'axe : c'est l'optique à travers un tube filiforme.

L'optique géométrique telle qu'elle est enseignée dans nos lycées et dans le cours du P. C. N. est insuffisante. Les élèves sont habitués à considérer les lentilles tout à fait en dehors du monde réel. Ils effectuent les constructions de l'optique géométrique, à l'aide de rayons qui, dans la pratique, ne pourraient avoir une existence réelle puisque ces rayons seraient arrêtés par les montures des lentilles et par les diaphragmes.

Quand on fait des expériences, on est bien obligé de tenir compte des réalités ; et, d'ordinaire, on suit la marche des rayons, à l'aide d'un petit écran qu'on déplace de proche en proche. On s'aperçoit alors qu'il y a loin de nos théories élémentaires habituelles aux faits observés.

Quelques expériences (1) faciles à réaliser, montrent l'insuffisance des lois ordinaires de la dioptrique classique.

I. — Si, au moyen d'une lentille de grande ouverture, on projette sur un écran l'image du filament d'une lampe à incandescence, on obtient le maximum de netteté quand l'image est entourée d'un voile, et non pas quand le voile disparaît, c'est-à-dire quand on reçoit sur l'écran les plus petits cercles de diffusion. Cela montre que, pour la formation de l'image, la distribution de la lumière à l'intérieur des cercles de diffusion a plus d'importance que la grandeur même de ces cercles, et pourtant on ne s'en inquiète pas.

II. — On ne tient pas compte de l'ouverture du diaphragme. En réalité, le faisceau infiniment étroit est une fiction, car, si on prend un tout petit diaphragme, les phénomènes de diffraction interviennent. Pour l'œil, l'ouverture de la pupille, très grande par rapport à la distance focale, n'est pas comparable aux petits diaphragmes pour lesquels la théorie est établie.

Avec une lentille convergente, projettons sur un écran perpendiculaire à l'axe l'image d'une figure plane, formée de rayons et de cercles concentriques équidistants, et centrée sur cet axe, auquel nous la supposons perpendiculaire ; déplaçons un petit diaphragme le long de l'axe, les images des cercles, tout en restant concentriques, se déplaceront les unes par rapport aux autres, et ne seront plus équidistantes entre elles, ce qui montre que le grossissement de l'image n'est pas la même chose que le coefficient de grossissement sur l'axe, qui, lui, est indépendant du déplacement du diaphragme : le grossissement sur l'axe est la limite vers laquelle tend le grossissement de

(1) Cf. M. Dufour, *Sur les récents progrès de la dioptrique oculaire*,

l'image quand l'objet toujours placé sur l'axe est infiniment petit.

III. — Voici enfin une expérience qui montre qu'on peut avoir affaire à plusieurs sortes d'images :

1° Le trou sténopéique donne sur le verre dépoli d'une chambre noire une image un peu floue des objets placés à l'extérieur. Cette image est une *projection géométrique.* Avec un trou limité par un cercle parallèle au verre dépoli, à tous les points de l'objet correspondent des taches lumineuses circulaires, et, si nous supposons le trou assez grand pour que la diffraction n'intervienne pas, la qualité de l'image dépend de la grandeur de ces cercles, qui sont du même ordre de grandeur que le trou.

2° Plaçons une lentille divergente devant le trou à une distance égale, par exemple, à la moitié de la longueur de la chambre noire : la grandeur de l'image et la grandeur des taches lumineuses, qui la constituent, se trouvent modifiées. Si le centre du trou est sur l'axe de la lentille divergente, au point de l'objet situé sur cet axe correspond encore une tache lumineuse circulaire, mais les taches qui correspondent aux points de l'objet un peu éloignés de l'axe ne sont plus circulaires : nous avons affaire ici à une *projection optique.*

3° Enfin remplaçons le trou sténopéique par une lentille biconvexe, et disposons l'écran perpendiculairement à son axe, de façon à obtenir une image aussi nette que possible d'une petite source lumineuse placée sur cet axe : l'image est alors plus petite que tout à l'heure, et elle est plus brillante. Elle est formée par la rencontre des rayons lumineux : *c'est une image optique vraie.*

Mais si nous déplaçons la source lumineuse dans un plan perpendiculaire à l'axe de la lentille, la tache lumi-

neuse sur l'écran devient de plus en plus étendue à mesure que nous l'éloignons de l'axe. Si nous plaçons alors sur la lentille un écran opaque percé d'un trou, et si nous imprimons à cet écran des mouvements latéraux, nous verrons la tache lumineuse se promener sur le verre dépoli. Nous nous assurons ainsi que ce n'est plus la rencontre des rayons qui produit la tache lumineuse : il y a *simplement projection optique.*

Donc, si l'on cherche à reproduire une figure située dans un plan perpendiculaire à l'axe d'un système optique centré, la portion centrale du champ présente seule *une image optique vraie*, et dans les parties périphériques, l'image est une simple *projection optique.*

La théorie de la production générale des images optiques repose sur deux faits d'expérience :

1° La propagation rectiligne de la lumière dans les milieux homogènes ;

2° La loi générale de la réfraction sin i = sin r.

De cette loi on déduit la loi de Malus : Dans des milieux isotropes, un faisceau de rayons isogènes, c'est-à-dire partant d'un même point ou normaux à une même surface S, restent encore normaux à une même surface S', après avoir subi un nombre quelconque de réflexions ou de réfractions. On se trouve donc ramené à une question de géométrie qui a été traitée de diverses façons par différents auteurs.

Un des mérites du professeur Gullstrand est d'avoir créé une optique géométrique exempte de fictions. D'autre part, c'est à Abbe et à ses élèves que revient l'honneur d'avoir insisté sur l'importance pratique de la limitation des faisceaux lumineux.

Ainsi, les résultats remarquables obtenus par le profes-

seur Gullstrand sont dus à sa connaissance profonde de l'optique et nous comprenons que sans la théorie exacte de la marche des rayons lumineux, et sans l'aide des ressources techniques les plus modernes, on n'aurait pas pu obtenir des images du fond de l'œil aussi parfaites et par suite aussi instructives.

Nous allons rappeler, dans le chapitre suivant, les résultats de l'optique géométrique ordinaire qui sont nécessaires à l'intelligence des méthodes ophtalmoscopiques ; mais, comme nous l'avons dit plus haut, ces lois de l'optique géométrique à travers un tube étroit, sont obtenues grâce à des fictions qui ne se trouvent pas réalisées en pratique : ce sont des lois limites. Elles ne sont valables que pour les points situés sur l'axe d'un système symétrique autour de cet axe, et si on considère uniquement des rayons voisins de l'axe et infiniment peu inclinés sur lui. Quand on voudra les appliquer à des points excentriques de l'image, dans les conditions où l'image se forme en réalité, les diaphragmes ayant une ouverture finie, il faudra toujours se rappeler qu'elles ne fournissent qu'une approximation. Pour trouver la différence entre ces valeurs approchées et les valeurs réelles, il faudrait appliquer au phénomène des lois d'ordre plus élevé. Mais l'approximation qui vient d'être indiquée est suffisante pour le but que nous nous proposons.

CHAPITRE II

Rappel des notions fondamentales

Propagation rectiligne de la lumière :

Dans un milieu homogène la lumière se propage d'un point à un autre en ligne droite. Il en résulte que si nous savons qu'un rayon lumineux doit passer par deux points donnés, ce rayon est complètement déterminé, et que nous pouvons connaître graphiquement ou par le calcul son intersection avec une surface donnée, par exemple avec un plan servant d'écran. C'est un problème qui se retrouve constamment en optique.

Principe du retour inverse des rayons lumineux :

De cette propagation rectiligne, il résulte que la lumière allant d'un point A à un point B suit exactement le même chemin que pour aller du point B au point A. Ce principe qui est en optique d'une application très générale s'appelle le *principe du retour inverse du rayon lumineux.*

Réflexion :

Si un faisceau de lumière tombe sur la surface de séparation de deux milieux optiques, et si cette surface de séparation est bien polie, une partie de la lumière se réfléchit suivant les lois de la réflexion régulière :

1re loi : le rayon réfléchi reste dans le plan d'incidence.

2e loi : l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence, et le rayon réfléchi se trouve sur un cône ayant pour axe la normale à la surface et passant par le rayon incident.

L'interception de ce cône avec le plan qui passe par son axe se compose de deux génératrices qui ne se distinguent que par le sens de parcours de la lumière. Il en résulte que le principe du retour inverse s'applique au phénomène de la réflexion.

Réfraction :

Si le second milieu est transparent, et si la surface de séparation est bien polie, une partie de la lumière incidente pénètre dans le second milieu en suivant les lois de la réfraction régulière :

1re loi : Le rayon réfracté reste dans le plan d'incidence.

2e loi : Les sinus des angles d'incidence et de réfraction sont dans un rapport constant qu'on appelle l'indice de réfraction du second milieu par rapport au premier. Si les angles sont très petits, on peut les confondre avec leurs sinus, et écrire la deuxième loi de la réfraction sous la forme simple.

3° loi : Le principe du retour inverse s'applique au phénomène de la réfraction.

Diffusion :

Si la surface qui sépare deux milieux optiques n'est pas parfaitement polie, il n'y a plus ni réflexion régulière, ni réfraction régulière : la lumière est renvoyée plus ou moins irrégulièrement dans toutes les directions. On dit alors qu'il y a diffusion. Il se produit également de la diffusion quand la lumière traverse un milieu trouble.

Réflexion par un miroir plan :

Un faisceau incident *homocentrique* est transformé en un faisceau réfléchi *homocentrique* dont le sommet est le point symétrique du sommet du faisceau incident par rapport au miroir.

Réflexion par un miroir sphérique :

Un rayon incident parallèle à l'axe est réfléchi de façon à venir passer par un point situé à égale distance du sommet du miroir et de son centre de courbure : ce point est le *foyer principal*. Un rayon passant par le centre de courbure est réfléchi sur lui-même. A l'aide de ces deux

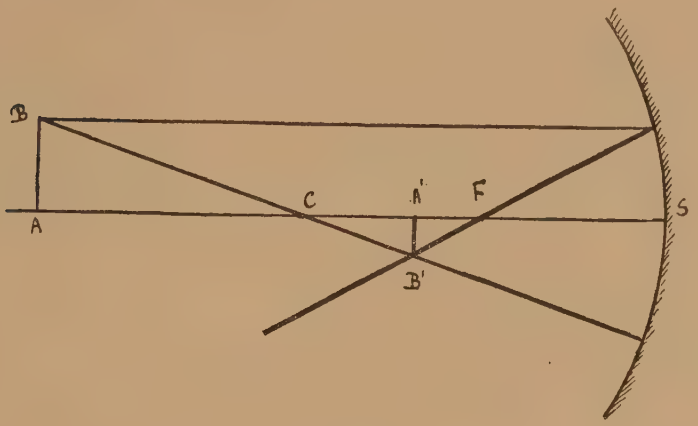

Fig. 1

rayons on construit facilement l'image d'un point objet ; cette image se trouve à l'intersection d'une droite fixe, la *caractéristique* du point et d'une droite pivotant autour d'un point fixe, l'*axe secondaire* du point. En regardant la figure on constate que l'image et l'objet doivent toujours se déplacer en sens contraire. Cette construction s'applique indifféremment au miroir concave et au miroir

convexe. Le faiscau réfléchi est un faisceau convergent dans la portion où les rayons n'ont pas encore formé l'image réelle du point objet. Le faisceau devient divergent et s'épanouit au delà de l'image réelle. Le faisceau correspondant à une image virtuelle est un faisceau divergent.

Réfraction par un dioptre plan :

Le point objet et le point image sont sur une même normale au dioptre plan. L'image semble rapprochée de la surface de séparation des milieux si le second milieu est moins réfringent que le premier ; c'est l'inverse si le second milieu est plus réfringent.

Réfraction par une lame à faces parallèles :

L'image est égale à l'objet, elle se trouve seulement déplacée dans le sens perpendiculaire aux faces de la lame et rapprochée de la lame si le milieu qui constitue la lame est plus réfringent que le milieu ambiant. Ce résultat persiste même si l'incidence n'est pas normale.

Réflexion par une lame à faces parallèles :

Le faisceau lumineux réfléchi se compose de rayons qui ont été réfléchis sur la face tournée du côté d'où vient la lumière et de rayons qui, ayant pénétré à l'intérieur de la lame et s'étant réfléchis un nombre impair de fois à l'intérieur du verre, ont subi un nombre impair de réflexions et deux réfractions. A chacun de ces faisceaux correspond une image distincte, mais en général les images d'un rang élevé sont trop peu éclairées pour être gênantes. Les diverses images ne peuvent être vues dans la même direction que pour l'incidence normale. Dans un miroir

argenté sur sa face postérieure, l'image produite par la réflexion sur le métal est beaucoup plus brillante et se trouve seule perçue dans les conditions ordinaires, à moins que l'incidence ne soit très oblique.

Réflexion par une pile de glaces :

Si derrière la première lame à faces parallèles, on place une série d'autres lames à faces parallèles, toutes parallèles entre elles, le faisceau lumineux réfléchi est plus intense. Le pouvoir réflecteur d'une pile de glaces est plus considérable que celui d'une seule lame.

Systèmes catadioptriques :

Un système optique où interviennent à la fois des réflexions et des réfractions porte le nom de *système catadioptrique*. L'exemple le plus simple qu'on puisse donner est fourni par une lame à faces parallèles employée comme miroir.

Prisme :

Le prisme dévie vers la base les rayons lumineux réfractés. En général, la déviation varie avec l'incidence, mais, si l'angle du prisme est très petit ainsi que les angles d'incidence et de réfraction, la déviation est indépendante de l'incidence, et donnée par la formule $D = (n-1) A$.

Réflexion par une lame prismatique mince :

On peut employer pour réfléchir la lumière une lame prismatique mince, ce qui présente l'avantage de rejeter un peu sur le côté la seconde image de façon à ce que l'image par réflexion sur la première face et l'image par

réflexion sur la seconde face soient vues dans la même direction pour une incidence déterminée.

Prisme à réflexion totale :

Si, sur l'une des faces d'un prisme triangulaire de verre à base rectangle et isocèle on fait tomber perpendiculairement un faisceau de rayons parallèles, ces rayons pénètrent sans déviation dans le prisme, subissent la réflexion totale sur la face hypoténuse du prisme et sortent à peu près normalement à l'autre face. Dans ces conditions, le prisme se comporte comme un miroir plan, et donne une image virtuelle, symétrique par rapport au plan de la face hypoténuse.

Dans certains cas, il est avantageux d'employer un prisme à réflexion totale, plutôt qu'un miroir métallique dont la surface éprouve une altération assez rapide.

Dioptre sphérique :

Le dioptre sphérique est caractérisé par son axe, son sommet et ses deux foyers principaux. L'image d'un point se trouve à l'intersection du rayon réfracté correspondant

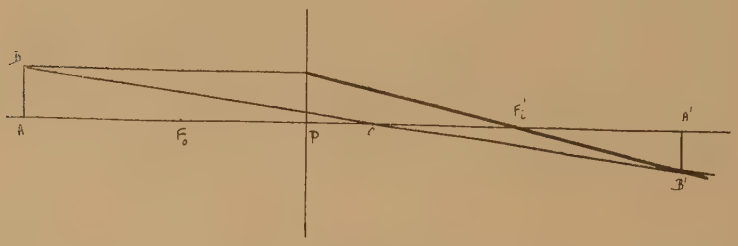

Fig. 2

à un rayon incident parallèle à l'axe et passant par le foyer image (*caractéristique*) avec *l'axe secondaire* qui passe par le centre de courbure. Quand le point-objet se

déplace dans le sens de l'axe, le point-image est donné par l'intersection d'une droite fixe, la caractéristique avec une droite pivotant autour d'un point fixe, l'axe secondaire. *L'image et l'objet se déplacent toujours dans le même sens.*

La relation entre la position de l'image et celle de l'objet est donnée par la formule :

$$-\frac{n}{p}+\frac{n'}{p'}=\frac{n'-n}{R}$$

n et n' désignant les indices de réfraction du premier et du second milieu ; p et p' représentent les distances respectives de l'objet et de l'image au sommet du dioptre, R son rayon de courbure.

On peut également employer la formule :

$$\pi\pi' = -ff'$$

formule dite de Newton ; π et π' désignant les distances de l'objet et de l'image au foyer correspondant, f et f' désignant les distances focales du dioptre.

Ces formules sont générales, grâce aux conventions de signes habituelles.

Lentille sphérique :

Elle peut être envisagée comme l'association de deux dioptres infiniment rapprochés ou comme l'association

Fig. 3

d'une infinité de prismes de petit angle. Elle est caractérisée par son axe, son centre optique et ses deux foyers. Les deux distances focales sont égales, l'image d'un point objet se trouve à l'intersection de la caractéristique avec l'axe secondaire qui passe par le centre optique. L'image et l'objet se déplacent toujours dans le même sens. L'unité de convergence qui a reçu le nom de dioptrie est la convergence d'une lentille ayant une distance focale de un mètre. On appelle convergence l'inverse de la distance focale.

La relation entre la position de l'image et celle de l'objet est donnée par la formule générale :

$$-\frac{1}{p}+\frac{1}{p'}=\frac{1}{f}$$

dans laquelle f = distance focale de la lentille ; p et p' désignent les distances respectives de l'objet et de l'image au centre optique de la lentille.

On peut également employer la formule

$$\pi\,\pi' = f^2 \text{ (formule de Newton)}$$

π et π' désignant les distances de l'objet et de l'image aux foyers correspondants. Ces formules sont générales, grâce aux conventions de signes habituelles.

Loupe :

Si l'on place un objet réel entre le centre optique d'une lentille mince convergente et son foyer objet, la lentille donne de cet objet une image virtuelle droite et agrandie : on dit alors qu'elle fonctione comme *loupe*. Si l'objet se rapproche du foyer-objet, l'image est rejetée à l'infini, et

elle est infiniment grande. L'angle sous lequel peut alors être vu à travers la loupe un objet de grandeur unité est égal à l'inverse de la distance focale de la loupe. Cette valeur $1/f$ est la *puissance* de la loupe. Le *grossissement conventionnel*, commercial (1) de la loupe est égal par définition au quart de la puissance. Autrement dit, le grossissement commercial d'une loupe est par convention le quotient du nombre 25 par la distance focale principale évaluée en centimètres. Ainsi le grossissement d'une lentille de 1 centimètre de distance focale est égale à 25.

Association de deux lentilles minces :

Si deux lentilles minces sont accolées, le système résultant est équivalent à une lentille mince unique, dont la convergence est égale à la somme algébrique des convergences des lentilles accolées.

Systèmes optiques centrés .

On appelle système optique centré l'ensemble de plusieurs dioptres c'est-à-dire, de plusieurs surfaces sphériques séparant des milieux optiques différents et dont les centres de courbures sont sur une même droite qui est l'axe du système ; les surfaces sphériques ne sont plus supposées infiniment voisines comme pour les lentilles minces.

Le faisceau émané d'un point-objet situé dans le premier milieu est transformé par le premier dioptre en un faisceau réfracté ayant pour sommet l'image du point-objet. Ce point image fourni par le premier dioptre joue le rôle d'un point-objet par rapport au deuxième dioptre,

(1) Cf. Bouasse, *Optique géométrique élémentaire*, p. 118.

qui en donne à son tour une image. Cette seconde image joue le rôle de point-objet par rapport au troisième diop-

Fig. 4

tre et ainsi de suite. On obtient ainsi du point-objet une image définitive située dans le dernier milieu.

Le système centré possède deux foyers principaux, deux plans principaux, deux plans antiprincipaux, et deux points nodaux.

Effet d'une lentille mince dont le centre optique est placé au foyer-objet d'un système centré :

Si, entre un objet et un système centré qui en donne l'image, nous interposons une lentille mince dont l'axe coïncide avec l'axe du système et dont le centre optique est placé au foyer du système, l'*image définitive de l'objet conserve la grandeur qu'elle avait avant l'interposition*

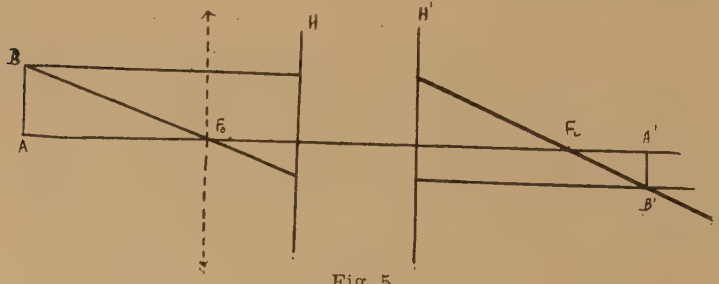

Fig. 5

de la lentille. Cette image se trouve seulement déplacée le long de l'axe d'une quantité qui dépend de la distance focale de la lentille. On s'en rend compte aisément en remarquant que l'image définitive se trouve sur le rayon réfracté parallèle à l'axe correspondant au rayon incident émané du point et passant par le foyer objet du système, et que, après l'interposition de la lentille, le trajet de ce rayon qui passe par le centre optique n'est pas modifié.

Microscope :

Quand on veut augmenter beaucoup la puissance d'un système optique destiné à l'observation des très petits objets, on est amené à constituer ce système à l'aide 1° d'un objectif de très faible distance focale qui donne de l'objet une image réelle I, renversée et agrandie, et 2° d'un oculaire donnant de l'image I une image définitive virtuelle, agrandie, droite par rapport à I et renversée par rapport à l'objet. L'objectif et l'oculaire du microscope composé sont eux-mêmes formés de systèmes centrés complexes, ce qui permet de diminuer beaucoup les aberrations et par suite d'obtenir avec avantage des images plus grandes.

Association de deux lentilles minces non accolées :

En désignant par f' et f'' les distances focales des deux lentilles supposées placées dans l'air et par d la distance de leurs centres optiques, la distance focale du système résultant F est donnée par la relation

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{f''} - \frac{d}{f'f''}$$

La puisance D du système résultant est donnée par $D = D' + D'' - dD'D''$.

D' et D'' étant les puissances des 2 lentilles minces,

Systèmes afocaux :

Si les lentilles sont placées de telle sorte que le foyer-image de la première coïncide avec le foyer-objet de la seconde, nous avons $d = F + f''$ la distance focale du système résultant est infinie comme le montre la formule

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f'} + \frac{1}{f''} - \frac{f' + f''}{f' f''}$$

Le système est dit *afocal*. Les systèmes afocaux présentent en optique une importance spéciale.

Le système afocal réalisé par l'association de deux lentilles convergentes porte le nom de lunette astronomique.

Le système afocal réalisé par l'association d'une lentille convergente tournée vers l'objet et d'une lentille divergente porte le nom de lunette de Galilée.

La lunette astronomique donne de l'objet visé une image renversée, ce qui dans certains cas est désavantageux. On peut redresser l'image en interposant entre l'objectif et l'oculaire un système optique. Dans la *lunette terrestre* ou lunette longue-vue, le *système redresseur* se compose de deux lentilles ; dans la *lunette à prismes*, il est formé par des primes à réflexion totale convenablement associés. Le redressement de l'image par les prismes permet d'obtenir une lunette beaucoup plus courte que la lunette astronomique comportant les mêmes lentilles.

Grosssisement angulaire des systèmes afocaux :

On appelle *grossissement angulaire d'un système afocal* le rapport de la tangente de l'angle que fait avec l'axe du système un rayon émergent à la tangente de l'angle que fait avec l'axe le rayon incident correspondant. Ce grossissement angulaire a pour expression le rapport F/f de la

distance focale de l'objectif à la distance focale de l'oculaire, ou, ce qui revient au même, le rapport d/D de la puissance de l'oculaire à la puissance de l'objectif. Il peut servir à caractériser l'avantage qu'un œil emmétrope non accommodé retire de l'emploi de l'instrument, car il représente le rapport des angles sous lesquels un objet éloigné est vu à travers l'instrument et à l'œil nu.

Lunette-viseur :

Si l'on veut avec une lunette astronomique ou une lunette de Galilée voir nettement un objet placé à distance finie, il faut modifier l'écartement des deux éléments du système. Comme l'image et l'objet se déplacent dans le même sens, il faut éloigner l'oculaire de l'objectif pour que l'image fournie par l'objectif soit maintenue à une distance de l'oculaire égale à sa distance focale.

Oculaires :

Si avec le système de deux lentilles minces convergentes, on veut examiner l'image I fournie par un autre système optique on peut procéder de deux façons différentes. On peut recevoir sur la première lentille les rayons lumineux avant la formation de l'image I : dans ce cas on a affaire à un *oculaire négatif*. L'image I₁ que fournit alors la première lentille se trouve entre cette lentille et son foyer-image, il faut rapprocher la seconde lentille si l'on veut que son foyer-objet coïncide avec l'image I. L'oculaire négatif est plus court que le système afocal, et que la lunette viseur formés des mêmes éléments.

On peut encore laisser se former l'image I fournie par le premier système optique et se servir de l'oculaire composé comme d'une loupe. La première lentille de cet ocu-

laire fournit alors de I une image virtuelle I' et si l'on veut que le foyer-objet de la seconde lentille coïncide avec cette image, il faut la rapprocher davantage de la première lentille. L'oculaire positif est donc plus court que l'oculaire négatif.

La formule $D = D' + D'' - dD' D''$ montrant que la puissance du système varie en sens inverse de la longueur d, l'oculaire positif est plus puissant que l'oculaire négatif formé des mêmes lentilles.

Aberrations :

Si le faisceau incident au lieu d'être infiniment étroit et infiniment voisin de l'axe du système optique présente une ouverture finie, et si l'angle d'incidence n'est pas très petit, le faisceau réfléchi et réfracté ne sont plus homocentriques en général. On dit que les images sont entachées d'*aberrations*. Les rayons lumineux d'un faisceau, au lieu de passer par un même point, se trouvent tangents aux deux nappes d'une surface qu'on appelle la *caustique*. Les rayons centraux infiniment voisins de l'axe du système passent par une image optique proprement dite du point objet, mais sur les autres rayons du faisceau, il y a accumulation de lumière en deux points qu'on appelle les *points focaux*. Pour un faisceau suffisamment étroit, ne rencontrant pas les surfaces optiques au voisinage immédiat de leur sommet, ou pour un faisceau oblique, les points focaux sont distribués suivant deux lignes appelées *lignes focales*.

Aberrations des lentilles sphériques :

Pour une lentille sphérique donnée, les aberrations dépendent de la distance qui sépare du centre optique le point-objet pris sur l'axe. Pour un point objet déterminé

et pour une lentille placée à une distance donnée d'une lentille de puissance donnée les aberrations dépendent de la forme de la lentille et pour une même forme de lentille, elles dépendent du sens dans lequel la lumière traverse la lentille.

Caustique par réflexion sur un miroir sphérique :

Les lignes focales correspondant à un faisceau incident sont d'autant plus éloignées que l'incidence est plus grande. Un faisceau réfléchi sous l'incidence oblique s'épanouit donc moins rapidement qu'un faisceau réfléchi sous l'incidence normale. Le fait est intéressant à remarquer si l'on veut employer le faisceau réfléchi par un miroir concave à l'éclairage d'une région déterminée de l'espace à travers un orifice ou diaphragme étroit.

Suppression des aberrations :

Les aberrations nuisent à la netteté des images fournies par les systèmes optiques. Pour les réduire, on est amené à employer des lentilles d'une assez faible ouverture ce qui réduit l'éclat des images. Comme une lentille peut avoir un diamètre d'autant plus grand que sa distance focale est plus grande, son ouverture gardant la même valeur on peut obtenir une diminution des aberrations en remplaçant une lentille de distance focale déterminée par deux lentilles de distance focale moindre convenablement placées.

Lentilles asphériques :

Dans ces dernières années on a pu en renonçant à donner aux deux faces de la lentille la forme sphérique obtenir des lentilles présentant pour une ouverture rela-

tivement grande des aberrations réduites : ce sont les *lentilles asphériques.*

« Nous ne pouvons pas corriger l'astigmatisme des faisceaux obliques avec un seul verre sphérique ; mais nous pouvons concevoir que cette condition se trouverait réalisée si chaque pinceau lumineux avait à traverser en plus de la lentille à faces sphériques un petit prisme convenablement choisi et convenablement orienté, qui lui donnât la direction voulue, ou, ce qui revient au même si nous renoncions pour une des faces du verre à la forme sphérique. Le professeur Gullstrand modifie la forme sphérique en enlevant en chaque point dans le sens du rayon de la sphère une quantité σ proportionnelle à la quatrième puissance de la distance sphérique l du point au pôle de la calotte sphérique, $\sigma = x\, l^4$. Les points de la nouvelle surface s'écartent de plus en plus de la sphère à mesure qu'ils s'éloignent davantage de l'axe de la lentille » (1).

Systèmes astigmates :

Si les surfaces dirimantes ne sont plus des surfaces spériques centrées, le faisceau incident étroit se propageant suivant l'axe du premier dioptre ne donne plus naissance à un faisceau homocentrique dans le dernier milieu. On dit qu'on a affaire à un *système astigmate.* Nous nous bornerons à étudier comme systèmes astigmates les systèmes formés par l'association d'une face cylindrique et d'une face sphérique, ou de deux faces cylindriques entre elles : ce sont les *lentilles cylindriques.*

« La théorie de la marche des rayons lumineux à travers

(1) M. Dufour, *« Les verres correcteurs envisagés comme instruments d'optique (Annales d'oculistique*, août 1917).

les lentilles cylindriques est très compliquée dans le cas général ; mais, si on se borne au cas particulier d'un faisceau de rayons parallèles tombant sur une lentille plano-cylindrique ou sur une lentille sphéro-cylindrique dans la direction de son axe, on peut très facilement se rendre compte du phénomène à l'aide de considérations tout à fait élémentaires.

Prenons d'abord le cas d'une lentille plano-cylindrique à génératrices verticales, recevant sur sa face plane un faisceau de rayons lumineux parallèles à son axe. Nous pouvons grouper les rayons de ce faisceau à notre guise pour en saisir plus facilement la marche.

Considérons les rayons incidents situés dans un plan horizontal perpendiculaire à l'axe du cylindre : ils traversent sans déviation la face plane à laquelle ils sont normaux par hypothèse et viennent rencontrer la surface cylindrique suivant un parallèle : ils se comportent comme des rayons rencontrant une lentille sphérique dans un plan de section principale et forment un foyer à une distance de la lentille telle que $\frac{1}{f} = \frac{n-1}{R}$. Il en est de même dans tous les plans horizontaux rencontrant la lentille. L'ensemble de ces foyers est une ligne droite verticale parallèle aux génératrices du cylindre : c'est une ligne focale que viennent rencontrer tous les rayons réfractés.

Envisageons maintenant les rayons incidents situés dans un plan vertical à l'axe du cylindre ; ils traversent la face plane sans déviation et rencontrent la face cylindrique le long d'une génératrice ; ils rencontrent tous cette surface sous le même angle et restent parallèles après leur réfraction. Ils se trouvent encore une fois dans un même plan vertical, mais ce plan vertical ne sera plus parallèle

à l'axe de la lentille ; il a tourné d'un certain angle, les rayons qui le constituent pouvant être considérés comme déviés par un prisme. Nous pouvons dire aussi que ces rayons horizontaux, parallèles entre eux, se rencontrent à l'infini.

A chacune des génératrices du cylindre correspondra ainsi un foyer situé à l'infini. Les points infiniment éloignés de tous les rayons réfractés forment une bande horizontale ayant la hauteur de la lentille. Vu leur éloignement on peut en négliger l'épaisseur et assimiler cette bande à une droite. C'est la seconde ligne focale de la lentille. On peut la considérer comme perpendiculaire à l'axe de la lentille et aux génératrices du cylindre.

Après réfraction à travers la lentille, les rayons lumineux s'appuient sur les deux lignes focales, dont l'une est rejetée à l'infini.

On sait que la position des foyers, pour une lentille sphérique, ne dépend pas du sens de propagation de la lumière ; et que les foyers sont placés symétriquement par rapport à la lentille. Il en est de même pour les deux couples de lignes focales de la lentille cylindrique qui correspondent aux deux sens de propagation de la lumière, car cela tient tout simplement à ce que les rayons qui traversent une lentille peuvent être considérés comme traversant un prisme de petit angle à peu près normalement à son plan bissecteur : la déviation produite est indépendante de l'incidence parce qu'on se trouve au voisinage du minimum de déviation du prisme. Ce n'est d'ailleurs qu'une première approximation, et une analyse plus poussée montre que le sens dans lequel se propage la lumière a une influence sur la valeur des aberrations, et que les aberrations sont plus fortes pour les ménisques que pour les lentilles équibombées, les angles d'incidence

sur les bords des ménisques étant plus grands que pour les lentilles équibombées. Le résultat obtenu par la lentille plano-cylindrique, quand la lumière entrait par la face plane, sera donc encore vrai si nous retournons la lentille face pour face, c'est-à-dire si nous supposons qu'elle reçoive la lumière par sa face cylindrique. Pour passer au cas d'une lentille sphéro-cylindrique, il nous suffira d'accoler par leurs faces planes une lentille plano-cylindrique avec une lentille plano-sphérique. Supposons l'ensemble éclairé par un faisceau de rayons parallèles à l'axe de la lentille et tombant sur la face cylindrique. De chacune des lignes focales de la lentille plano-cylindrique, la lentille sphérique donnera pour image une droite lumineuse, et ces deux *lignes focales* du système seront, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire aux génératrices de la face cylindrique. Il est facile de voir que la ligne focale perpendiculaire aux génératrices de la face cylindrique se trouvera dans le plan focal de la lentille plano-sphérique. Les considérations précédentes montrent que la lentille sphéro-cylindrique peut recevoir les rayons par sa face sphérique sans que les résultats soient changés.

Donc, *si on éclaire une lentille sphéro-cylindrique par un faisceau de rayons incidents parallèles à son axe, tous les rayons du faisceau émergent s'appuieront à la fois sur deux droites focales rectangulaires entre elles.* C'est le type du faisceau astigmate, caractérisé par la *position* de ses deux droites focales et par leur *distance*. Les physiciens lui ont donné le nom de faisceau de *Sturm* ou *conoïde de Sturm* ». (1)

---

(1) M. Dufour, *Quelques renseignements sur les verres de lunettes et leur emploi* (page 20, 21, 23).

Système optique de l'œil :

Le système optique de l'œil peut être considéré comme composé de trois dioptres : la face antérieure de la cornée, les faces antérieure et postérieure *d'un cristallin supposé homogène* placé entre l'humeur aqueuse et le corps vitré qui ont sensiblement le même indice de réfraction que l'eau. Pour le système ainsi composé les deux plans principaux sont très voisins l'un de l'autre. Dans la plupart des applications, on peut les supposer confondus et remplacer le système optique de l'œil par un seul dioptre (*œil réduit* de Listing) caractérisé par son sommet placé sur l'axe de l'œil à deux millimètres environ en arrière de la cornée, son rayon de courbure égal à cinq millimètres, et l'indice de réfraction du second milieu égal à 4/3. Les distances focales de ce dioptre sont de 15 millimètres pour la distance focale objet et 20 millimètres pour la distance focale image.

L'œil est considéré comme un système optique ayant une puissance à peu près égale à 60 dioptries.

Amétropies symétriques :

L'œil est dit *emmétrope* si le foyer-image de son système optique se trouve sur la rétine, il est dit *amétrope* dans le cas contraire. Dans l'œil *hypermétrope*, le foyer-image se trouve au delà de la rétine. Dans l'œil *myope*, le foyer-image se trouve en avant de la rétine. On dit que l'amétropie est *axile*, si le système optique de l'œil est normal, et si l'amétropie est due à une longueur anormale de l'œil. La formule de Newton nous permet de connaître facilement l'amétropie correspondant à un certain défaut de longueur de l'œil.

Exemple : supposons un œil dont la macula se trouve à

un millimètre en arrière du foyer-image. Cherchons le degré d'amétropie de cet œil.

Désignons par π la distance en millimètres du foyer-objet au punctum remotum. Nous avons entre les valeurs absolues des segments la relation

$$\pi \times 1 = ff'$$

par hypothèse

$$f = 15 \text{ m/m}$$

$$f' = 20 \text{ m/m}$$

d'où $\pi = 300 \text{ m/m} = 0^{m}3$

En désignant par C l'amétropie de l'œil nous aurons

$$C = \frac{1}{0,3} = 3^{D}3$$

Par conséquent, un allongement de l'œil de 1 millim. correspond à une myopie de trois dioptries en chiffre rond. De même un raccourcissement de 1 millim. correspond à peu près à une hypermétropie de trois dioptries.

Amétropies asymétriques ; œil astigmate :

L'astigmatisme régulier de l'œil peut être dû à ce que la cornée non sphérique dans sa portion centrale est comparable à une portion de cuiller (surface d'un tore, d'un paraboloïde, d'un ellipsoïde, etc...) ou à ce que les dioptres qui composent le système optique ne sont pas centrés : cristallin placé obliquement. Il existe alors deux sections passant par l'axe et rectangulaires entre elles, dans lesquelles la réfraction de l'œil est maxima ou minima.

Verres correcteurs :

On corrige la myopie avec des verres sphériques concaves et l'hypermétropie avec des verres sphériques con-

vexes. Quand la correction est faite pour la vision de loin le foyer principal de la lentille correctrice coïncide avec le remotum de l'œil corrigé. L'œil myope est corrigé lorsqu'un faisceau de rayons parallèles est transformé en un

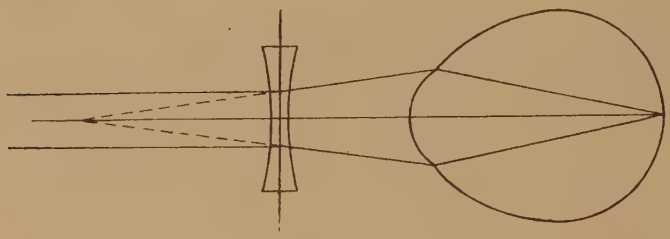

Fig. 6

faisceau ayant son sommet au remotum de l'œil ; de même pour l'œil hypermétrope, et cela quelle que soit la distance de la lentille correctrice à la cornée. Plus la lentille correctrice de la myopie est placée loin de l'œil,

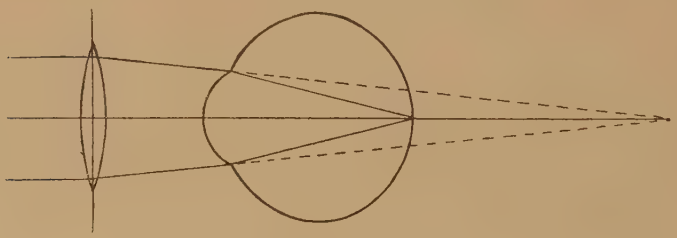

Fig. 7

plus sa distance focale doit être faible, et sa puissance considérable. C'est l'inverse pour l'œil hypermétrope. Une lentille concave qui corrige exactement la myopie d'un œil donné, quand elle est placée à une certaine distance de cet œil, devient insuffisante quand on l'éloigne de l'œil, et devient trop forte quand on l'en rapproche. Une lentille

convergente, qui, à une distance donnée de l'œil, corrige exactement une hypermétropie donnée, devient insuffisante si on la rapproche de l'œil et donne une surcorrection si on l'éloigne davantage (1).

Le verre destiné à la correction d'un œil astigmate comporte une face cylindrique (ou torique), éventuellement associée à une face sphérique. Il est déterminé par l'orientation de l'axe de la face cylindrique et par la puissance des corrections cylindrique et sphérique.

Grandeur des images rétiniennes produites par la correction des amétropies. Théorème de Giraud-Teulon :

Si le verre correcteur d'une amétropie axile est placé au foyer-objet de l'œil corrigé, l'image rétinienne a la même grandeur que dans l'œil emmétrope.

Ce théorème résulte immédiatement de ce que nous avons dit page 38.

Si le verre correcteur n'est pas correctement placé, l'image rétinienne n'a pas la même grandeur que dans l'œil emmétrope.

Le théorème de Giraud Teulon ne s'applique pas aux autres amétropies symétriques (hypermétropie de courbure, myopie de courbure et myopie d'indice), ni à l'astigmatisme, qui ne peut être une amétropie axile.

Aberrations chromatiques :

Dans tout ce qui précède nous avons supposé implicitement que tous les rayons lumineux du faisceau incident possédaient le même indice de réfraction. Il n'en est pas ainsi en réalité, les différentes radiations du spectre visible

(1) M. Dufour, *Quelques renseignements sur les verres de lunettes et leur emploi*, Paris 1907.

possédant chacune un indice de réfraction distinct au passage d'un milieu optique dans un autre. Les images obtenues sont par suite entachées d'un défaut qui a reçu le nom d'aberration chromatique. L'œil n'en est pas exempt. Dans les systèmes optiques centrés on diminue les aberrations chromatiques en associant plusieurs lentilles construites avec des verres de composition différente présentant des pouvoirs dispersifs différents.

CHAPITRE III

Le rôle des diaphragmes

C'est à Abbe et à ses élèves que revient le mérite d'avoir insisté sur l'importance pratique de la limitation des faisceaux de rayons (1).

L'utilité des diaphragmes est indiquée par M. Bouasse dans les termes suivants :

« Si l'on ne prend aucune précaution, l'image vue dans l'appareil a donc une partie centrale bien éclairée, entourée d'une partie marginale d'intensité décroissante ; ce qui est fort laid. On évite cet inconvénient avec un *diaphragme de champ* qui supprime les points de l'image réelle dont les pinceaux ne rencontrent que partiellement la lentille suivante. Le même travail de sélection doit avoir lieu pour chaque image réelle... les plans des diaphragmes étant conjugués, on donne à leurs trous des diamètres qui sont les images du diamètre du plus petit d'entre eux. On élimine peut-être dans la partie antérieure de l'appareil, des points dont les pinceaux passaient en totalité à travers quelque autre élément.

Les rôles des diaphragmes de limitation et des diaphragmes de champ sont très différents. Un appareil peut avoir

(1) On trouve en particulier l'exposé complet de la question dans l'ouvrage : *Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunkte der geometrischen Optik* (9e chapitre écrit par le Dr Von Rohr).

un champ relativement énorme avec une ouverture relativement petite (viseurs de laboratoire), au contraire un champ minime avec une ouverture énorme (grande lunette des observateurs) » (1).

Il existe différentes variétés de diaphragmes que le capitaine Raibaud caractérise ainsi : « Ils comportent trois variétés : les diaphragmes *de limitation*, qui règlent l'amplitude des faisceaux traversant l'instrument, formant écran pour les rayons jugés nuisibles; les diaphragmes *de champ* qui arrêtent les faisceaux provenant de points objets dont la vision à travers l'instrument serait imparfaite ; les diaphragmes *de clarté* s'opposant à la propagation de faisceaux, qui, venus d'objets non soumis à l'examen, altéreraient les qualités de l'image-objet » (2).

Pupilles d'un système optique

Si le système optique ne présente qu'une seule ouverture (monture de lentille ou diaphragme), on appelle pupille d'entrée l'image que le système donne de cette ouverture dans le premier milieu, et pupille de sortie l'image de cette ouverture dans le dernier milieu. La pupille d'entrée et la pupille de sortie ne sont pas définies aussi simplement dans les cas les plus compliqués. Nous allons voir que, d'une manière générale, la pupille de sortie à considérer dépend de la position de l'objet par rapport au système. Nous cherchons dans l'espace-image l'image de tous les diaphragmes et de toutes les montures de lentilles que le système comporte, et, parmi les images de toutes ces ouvertures, nous devons prendre

(1) Bouasse, *Construction, description et emploi des appareils de mesure et d'observation*, éd. 1917 page 272.

(2) Raibaud, *Instruments d'optique, d'observations et de mesure*, page 6 (éd. 1913).

pour pupille de sortie celle qui est vue du point image sous le plus petit angle solide.

Etudions un cas très simple : Dans la figure A B et C D représentent respectivement les images de l'ouverture d'un diaphragme et de l'ouverture d'une lentille. Entre A B et C D il n'existe aucune autre image d'ouverture

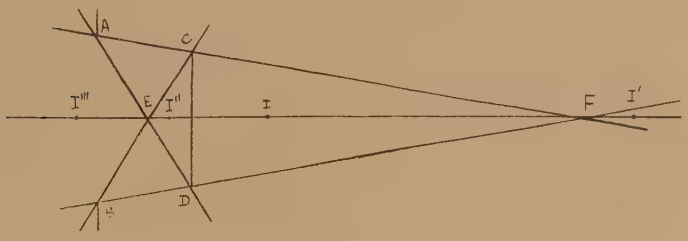

Fig. 8

(diaphragme ou monture de lentille). Les rayons A D et B C passent librement sans être arrêtés par les images de toutes les ouvertures du système. Par suite de la symétrie du système autour de son axe, les rayons A D, B C et A C, B D vont se couper respectivement aux points E et F sur l'axe du système.

Le plan de l'image coupe l'axe x y du système en un point I.

La pupille de sortie peut varier suivant la position que le point I occupe sur l'axe x y, comme il est facile de s'en rendre compte par la simple inspection de la figure.

Les constructions géométriques montrent immédiatement que dans l'intervalle E F la pupille de sortie est A B et qu'en dehors de E F la pupille de sortie est C D.

Il peut arriver que l'image d'une source lumineuse joue le rôle de pupille de sortie pour les points situés sur une certaine portion de l'axe. Par exemple, si C D est l'image de la source, pour tout l'intervalle E F, cette image, au

lieu d'être l'image d'ouverture d'une lentille, fonctionne comme pupille de sortie.

En vertu du principe général du retour inverse des rayons lumineux, ce qui vient d'être dit pour les pupilles de sortie, s'applique également aux pupilles d'entrée.

Fenêtres des systèmes optiques. Vignettisation des images.

Nous venons de voir comment on détermine la pupille de sortie pour un point situé sur l'axe du système optique dans le dernier milieu. Etudions maintenant l'éclairage aux différents points du champ ; pour cela, il faut chercher l'influence des autres ouvertures (diaphragmes et montures de lentilles). Avec le docteur Maurice von Rohr on appelle fenêtres de sortie (1) (*Austrittsluken*) les images dans l'espace-image des ouvertures autres que la pupille de sortie, et fenêtres d'entrée leurs images conjuguées dans l'espace-objet. Dans un cas simple comme le précédent, où il n'y a que deux ouvertures, il n'y a naturellement qu'une seule fenêtre de sortie : c'est l'image d'ouverture qui n'est pas la pupille de sortie.

La figure (8) fait comprendre comment cette fenêtre de sortie fixe l'étendue du champ et la façon dont varie l'éclairage en ces différents points. On voit que si l'on place en I un écran plan perpendiculaire à l'axe, le cône ayant son sommet en F et sa base en A B, limite la partie de cet écran qui se trouve éclairé par la pupille de sortie tout entière. Cherchons maintenant l'étendue utile de la pupille de sortie pour des points du plan image non situés sur l'axe $x\ y$ pour les différentes positions I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, que le point I peut ocuper par rapport à l'axe dans le plan-image. Dans la zone ($I\ I_2$) la pupille de sortie est

(1) M Blain leur donne le nom de lucarnes

circulaire et complètement éclairée (fig. 11, 12, 13) ; dans la zone (I 2, I 4) la pupille de sortie est en forme de croissant (fig. 14) ; dans la zone (I 4 I 5) la pupille de sortie est complètement vignettisée (fig. 15-16).

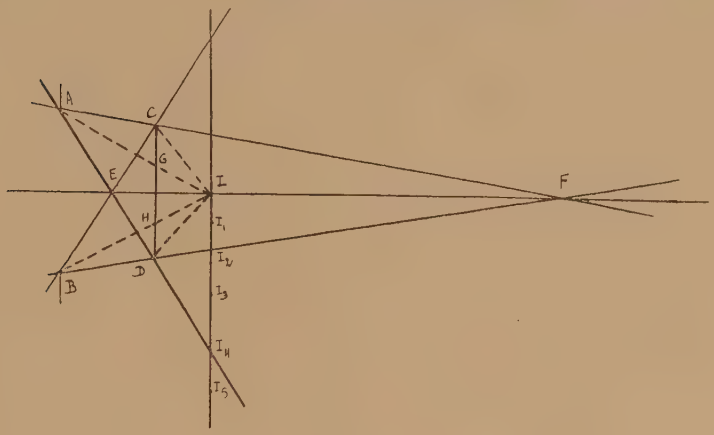

Fig. 9

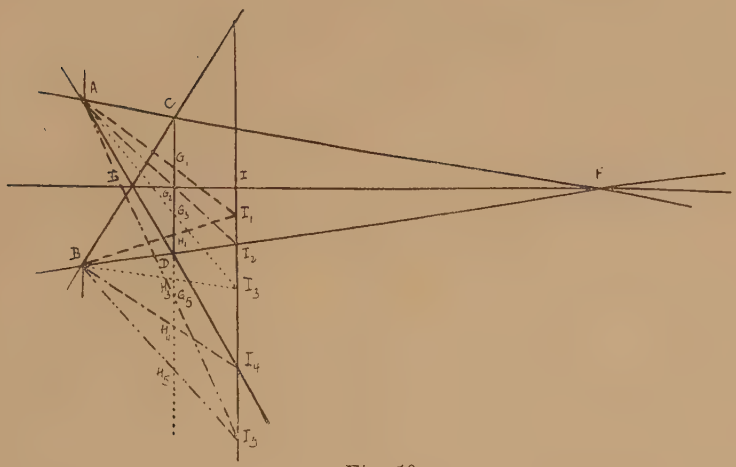

Fig. 10

La fenêtre de sortie arrête une partie des faisceaux des rayons allant à des points situés en dehors de l'intersec-

tion de l'écran avec une des lignes A F ou B F. Ces points ne reçoivent de lumière que d'une partie de la pupille de sortie : il y a là un phénomène de vignettisation (*Vignettierung*) qui augmente avec l'incidence. Tant que l'écran est situé à gauche de A B ou à droite de C D, la limite

Fig. 11

Fig. 12

Fig. 13

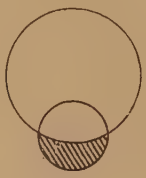

Fig. 14

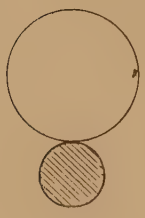

Fig. 15

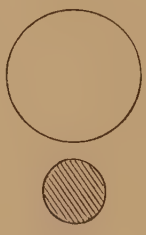

Fig. 16

N.-B. — Les hachures représentent les parties vignettisées.

entre le champ de plein éclairement et le champ vignettisé est marquée par les prolongements des lignes A C et B D ; la limite extérieure du champ vignettisé est marquée par le prolongement des lignes A B et B C. C'est l'inverse si l'écran se trouve entre les deux images d'ouverture. Quand l'écran se trouve en E ou en F, le champ

de plein éclairement se réduit à un point, en d'autres termes, tout le champ est vignettisé.

Quand il existe plusieurs fenêtres de sortie, on trouve dans la partie vignettisée du champ, un nombre correspondant de zones où la vignettisation se produit de façons différentes. Dans les cas où l'on veut éviter la vignettisation de l'image optique, il faut limiter par un diaphragme de champ, soit l'objet lui-même, soit une image réelle de cet objet produite dans le système optique, la grandeur de l'image de ce diaphragme dans le dernier milieu ne dépassant pas celle du champ de plein éclairement.

Cas où le système optique comporte un miroir percé d'un trou

Si le système d'éclairage comporte un miroir percé d'un trou, ce trou agit comme un écran central qui projette une ombre. Revenons à la figure 8, mais considérons A B comme l'image d'un diaphragme et C D comme l'image

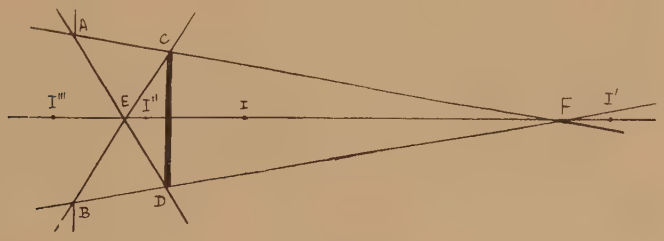

Fig. 17

d'un écran central. Toute lumière qui traverse le système doit passer par l'ouverture du diaphragme et comme nous supposons l'écran central opaque, il s'ensuit naturellement que l'ombre absolue est produite par le quadrilatère F C E D. (1)

(1) C D n'est pas l'écran lui-même mais son image.

Avec une source lumineuse suffisamment grande, les rayons lumineux A D et B C arrivent librement jusqu'au point E et si ces rayons traversent toutes les images des ouvertures qui sont situées dans les milieux précédents, l'ombre absolue ne s'étend pas plus loin que E vers la gauche de la figure.

Le point F joue un rôle analogue pour limiter le cône d'ombre à l'égard des rayons AC et BD. Pour trouver en un point quelconque de l'axe la *portion utile* de la pupille de sortie, on cherche comme à l'ordinaire la pupille de sortie parmi toutes les images d'ouverture, et ensuite on retranche de l'angle solide sous lequel on la voit du point I l'angle solide que soutend l'image de l'écran vue du même point I.

Nous allons étudier dans un cas simple les principaux caractères de la distribution de la lumière. Nous supposerons que l'image de la source lumineuse et toutes les

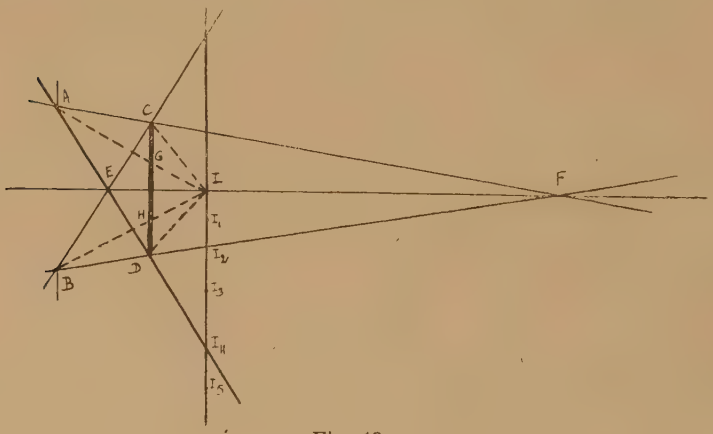

Fig. 18

autres images d'ouverture, sont situées à gauche de AB et sont assez grandes pour laisser passer les rayons AD et BC. Considérons un plan perpendiculaire à l'axe x y du

système situé entre les points E et F. Les cônes dont les traces sur le plan de la figure sont respectivement AC et BD, AD et BC découpent sur ce plan trois zones : une *zone centrale*, une *zone intermédiaire* et une *zone périphérique*. D'après notre hypothèse AB est l'image de la pupille,

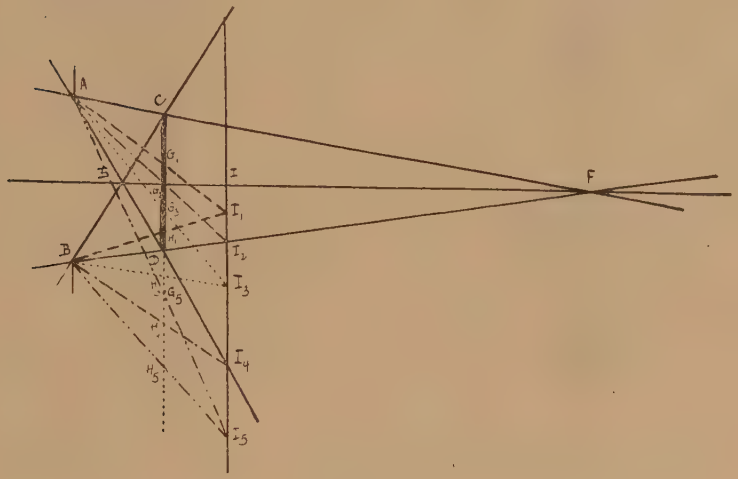

Fig. 19

et les autres fenêtres ne peuvent produire de vignettisation que dans la zone périphérique. Dans ces conditions cherchons la *portion utile* de la pupille de sortie pour les différents point du plan-image considéré.

Les constructions géométriques nous montrent que dans la zone centrale la pupille de sortie est circulaire et complètement dans l'ombre (fig. 20, 21), dans la zone moyenne elle affecte la forme d'un croissant (fig. 22, 23)

Fig. 20

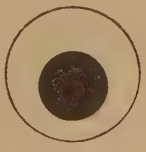

Fig. 21

dans la zone périphérique, elle est circulaire (fig, 24, 25). Nous remarquons que l'ombre semble se déplacer dans le même sens que le point I considéré : Le *déplacement est dit direct.*

Fig. 22

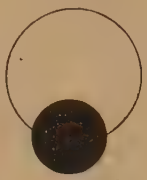

Fig. 23

Fig. 24

Fig. 25

Prenons maintenant un plan-image à droite du point F;

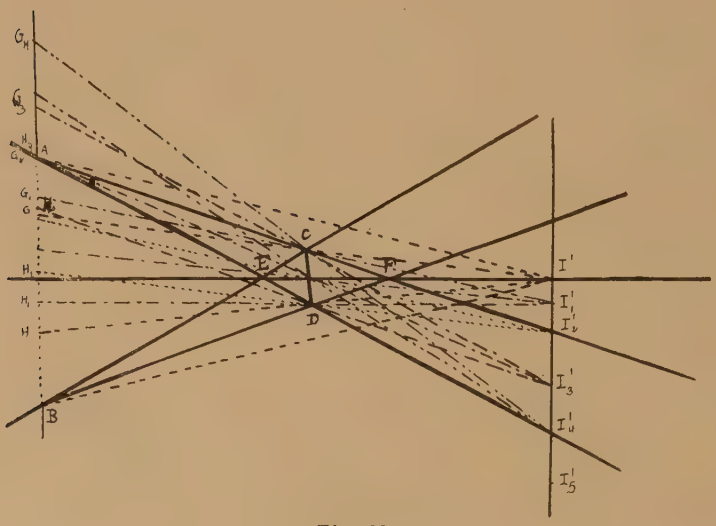

Fig. 26

comme dans le cas précédent cherchons la forme de la pupille de sortie utile, quand le point I' (intersection du

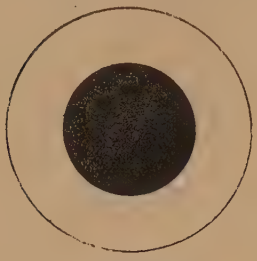

Fig. 27

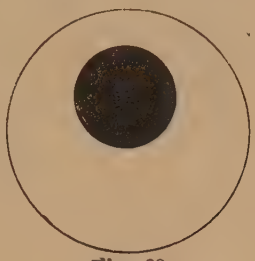

Fig. 28

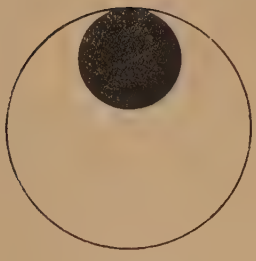

Fig. 29

Fig. 30

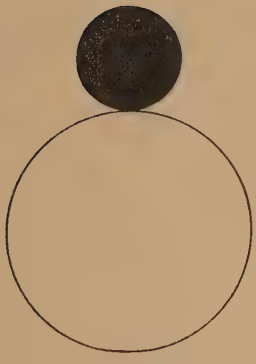

Fig. 31

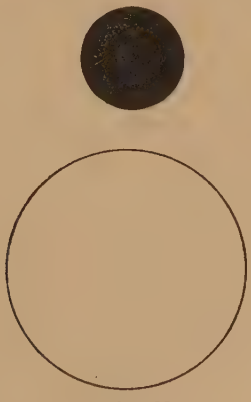

Fig. 32

plan-image avec l'axe x y du système optique à droite du point F occupe différentes positions dans le plan-image.

Les constructions montrent bien que dans la zone centrale, la pupille de sortie est annulaire (fig. 27, 28) dans la zone moyenne elle affecte la forme d'un croissant (fig. 29, 30) ; dans la zone périphérique elle est circulaire (fig. 31, 32).

L'ombre primitivement ronde et centrée sur la pupille de sortie, semble se déplacer en sens inverse du point I' : le déplacement est dit inverse.

Dans la zone centrale, il n'y a aucune vignettisation. Dans la zone intermédiaire il y a de la vignettisation inverse, c'est-à-dire que l'angle solide sous lequel est vue la pupille utile va en augmentant quand on avance vers la périphérie. Dans la zone périphérique, nous avons de la vignettisation directe : vignettisation ordinaire.

Déplaçons maintenant le plan considéré parallèlement à lui-même. En F la zone centrale se réduit à un point ; cette zone atteint en CD la surface maxima ; alors que pour cette position de l'écran, la zone intermédiaire disparait. En E la zone centrale disparait de nouveau, on retrouve la zone éclairée, la luminosité va en croissant. En AB la zone centrale existe seule et au delà de AB, les trois zones sont encore séparées. Remarquons enfin que pour un point situé entre E et AB, l'image AB ne joue plus le rôle de pupille de sortie.

Ce que nous venons de dire pour l'espace-image s'applique à n'importe quel milieu du système optique pourvu que l'on trouve dans le milieu les images de toutes les ouvertures et l'image de l'écran central. Pour un point situé sur l'axe dans un certain milieu, la pupille dans ce milieu est l'image d'ouverture qui est vue de ce point sous le plus petit angle solide ; les autres images sont les fenêtres de ce milieu. Les lignes droites qui traversent toutes les images d'ouvertures sont les images optiques de tous les rayons qui peuvent traverser le système. On peut

dire qu'elles constituent l'image de l'espace de rayons dans le milieu correspondant, et la partie réelle de cette image, c'est-à-dire la partie située entre les deux surfaces qui limitent ce milieu coïncide avec la partie de l'espace de rayons qui se trouve dans ce milieu. Si au lieu de considérer toutes les lignes droites qui traversent toutes les images d'ouverture, on ne prend que celles qui passent par un point donné et qui rencontrent l'image de la source lumineuse, elles représentent pour le point donné du milieu correspondant, l'image de l'espace de rayons utile. La grandeur de l'angle solide de cette image est manifestement identique à celle de l'angle solide de la pupille utile.

Si dans les cas de vignettisation compliquée on se propose de trouver la pupille utile, c'est en cherchant par projection l'image de l'espace de rayons utile que l'on résout le problème avec le plus de facilité.

Cette étude des pupilles facilite également l'explication des éclipses et celle de la *skiascopie*. D'ailleurs la figure diffère bien peu de celle qui sert à l'explication des éclipses du soleil que donnent les traités de physique élémentaire, et que l'on trouve déjà dans l'*Astronomie populaire* d'Arago (t. III, p. 546).

DEUXIÈME PARTIE

Ophtalmoscopie

CHAPITRE PREMIER

Principes généraux de l'ophtalmoscopie Les ophtalmoscopes ordinaires

Le fond de l'œil n'étant pas lumineux par lui-même, tout appareil destiné à l'observer devra comporter à côté du système d'observation proprement dit un système d'éclairage.

Le système d'éclairage s'étend de la source lumineuse à l'œil à examiner ; le système d'observation s'étend de l'œil à examiner à l'œil de l'observateur.

Chacun d'eux présente, suivant le modèle de l'instrument employé, un degré de complication plus ou moins accentué. Nous les étudierons successivement.

Système d'éclairage

Le système d'éclairage s'étend de la source lumineuse à l'œil à examiner. Si la pupille est suffisamment large, on peut placer dans son voisinage immédiat une très petite lampe électrique qui envoie directement la lumière dans l'œil à examiner. Cette lumière est séparée de l'œil de l'observateur par un écran. Ce dispositif est réalisé dans l'ophtalmoscope électrique de Baum dont nous parlerons plus loin à propos des ophtalmoscopes sans reflets.

Le plus souvent, on emploie une lampe placée à côté de la tête du patient et on renvoie la lumière dans l'œil à examiner à l'aide d'une surface réfléchissante convenablement placée.

Dans l'ophtalmoscope primitif de Helmholtz la surface

réfléchissante est constituée par une lame de verre transrente ou plutôt par une pile de glaces (p. 33). L'inconvénient de ces miroirs transparents est leur faible pouvoir *réflecteur :* on y remédie facilement aujourd'hui en prenant une source lumineuse d'une grande intensité.

Dans l'ophtalmoscope du professeur Gullstrand d'Upsal, on emploie pour réfléchir la lumière une lame prismatique ce qui évite la gêne qu'apporte la double image donnée par la lame à faces parallèles (p. 32).

La plupart des ophtalmoscopes comportent un miroir percé d'un trou. Ce trou qui, dans le système d'observation fonctionne comme un diaphragme placé au voisinage immédiat de l'oculaire, joue dans le système d'éclairage le rôle défavorable d'un écran central placé sur le trajet du faisceau éclairant (page 59). Nous verrons (page 96) le parti qu'on peut tirer de ce trou pour la suppression des reflets.

D'ailleurs, dans l'ophtalmoscopie courante, le défaut d'homogénéité introduit dans le faisceau éclairant par la présence du trou du miroir ne présente pas un grand inconvénient.

Tous les ophtalmoscopes habituellement employés sont munis d'un miroir concave ou d'un miroir plan. Le miroir concave a une distance focale de 20 centimètres et un diamètre de 3 centimètres environ ; il est percé, en son sommet, d'un trou de 4 millim. environ de diamètre. Ce miroir est directement appliqué contre le disque qui porte les diverses lentilles oculaires. Il convient très bien quand il est placé à 30 centimètres de l'œil à examiner, la source d'éclairage étant installée tout près de la tête du patient.

Mais si l'on se rapproche davantage il y a avantage à utiliser un miroir incliné sur le disque de Recoss (1), pour

(1) Le disque de Recoss porte un jeu de lentilles de puissance différente qu'on peut amener successivement devant l'œil de l'observateur.

que les rayons lumineux utiles traversent l'oculaire suivant son axe, la réfraction oblique produisant de l'astigmatisme. Alors, pour éviter un trop grand écart entre le trou du miroir et le trou du disque de Recoss, le diamètre du miroir doit être plus petit (15 millim. environ).

Dans l'ophtalmoscopie dite à l'*image droite* on emploie le petit miroir incliné (de 15 millim. de diamètre) et dans l'ophtalmoscopie dite à l'*image renversée*, on l'emploie également quand on se sert d'un système optique de faible longueur comportant un oculaire relativement puissant. C'est ce que faisait M. le docteur Gaudibert au centre ophtalmologique de l'Afrique du Nord. (1)

Système d'observation

Le système d'observation s'étend de l'œil examiné à l'œil de l'observateur. Il peut être simple, c'est-à-dire, sans l'interposition d'aucun système optique, sauf des lentilles correctrices dans les cas d'amétropies : *procédé dit à l'image droite*. Il peut aussi comporter un système optique proprement dit : *procédé dit à l'image renversée*.

Examen ophtalmoscopique simple

(*Procédé dit à l'image droite*)

C'est le procédé le plus simple qu'on puisse employer ; pour rendre notre exposition aussi claire que possible nous envisagerons successivement cinq cas :

1^er^ Cas. — *L'œil observateur et l'œil examiné sont emmétropes non accommodés.* — Nous supposons tout

(1) Cf. Dufour et Gaudibert. L'ophtalmoscopie au centre ophtalmologique de l'Afrique du Nord. *Annales d'oculistique*, octobre-novembre 1918.

d'abord qu'il s'agit de deux yeux emmétropes non accommodés. Nous désignerons d'une manière générale par E l'œil examiné et par O l'œil de l'observateur.

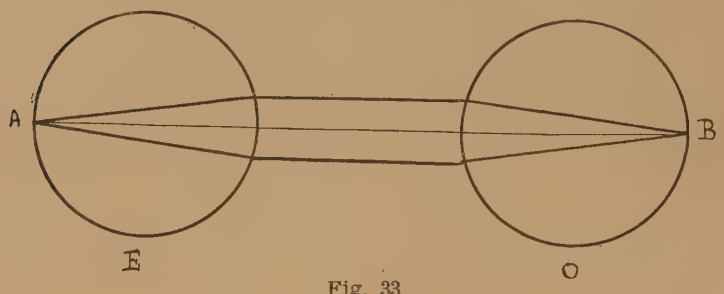

Fig. 33

Un point A de la rétine de l'œil E donne naissance à un faisceau conique divergent que le système optique de l'œil transforme en un faisceau de rayons parallèles puisque cet œil est supposé emmétrope non accommodé. L'œil observateur reçoit ce faisceau de rayons parallèles que son système optique transforme en un faisceau convergent ayant son sommet en un point B de la rétine. De cette façon, l'œil observateur pourra voir nettement, sans l'interposition d'aucun système optique, la rétine de l'œil examiné. Il la voit comme un objet infiniment éloigné ; c'est le procédé ordinaire dit à *l'image droite*.

Nous avons vu (page 48) que l'œil peut être considéré comme un système optique ayant une puissance à peu près égale à 60 dioptries. Nous pouvons donc admettre que la rétine de l'œil examiné, est vue comme à travers une loupe ayant une puissance équivalente. De telle sorte que le *grossissement conventionnel* du système optique est 60 : 4 = 15 (cf p. 36).

Champ d'observation. — Après la puissance et le grossissement, étudions le champ d'observation.

Les seuls rayons lumineux qui, partis de la rétine de l'œil examiné, peuvent arriver à l'œil de l'observateur, passent par les pupilles respectives des deux yeux. L'étendue du champ augmente quand l'observateur se rapproche.

Le champ d'observation est formé par l'ensemble des points de la rétine de l'œil examiné E vus par l'observateur O, les deux yeux E et O étant dans une position déterminée.

a) Parmi les rayons lumineux émanant de la rétine de E

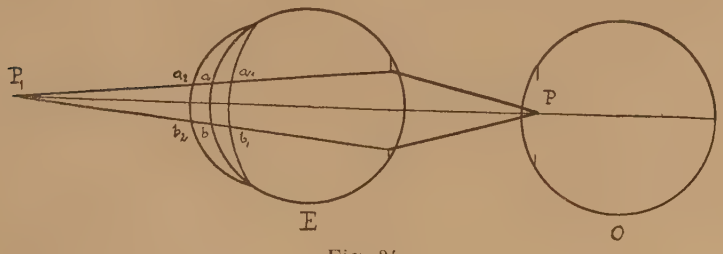

Fig. 34

et traversant la pupille de O nous ne considérons que les rayons passant par le centre de celle-ci.

Soit P le centre de la pupille de O. D'après le principe du retour inverse des rayons lumineux, nous savons que les rayons émanant de ce point P pour atteindre la rétine de E suivent en sens inverse le même chemin que les rayons venant des différents points de la rétine de E, et passant par ce point P.

Par conséquent, si, en supposant le point P lumineux, nous cherchons la portion de la rétine de E éclairée par ce point, cette partie éclairée représentera le champ.

Soit P_1 l'image de P donnée par le système optique de E, le faisceau conique réfracté de sommet P_1 intercepte sur la rétine la portion *a b*, vue par l'œil O.

Cette construction géométrique nous montre que :

1° Le champ *a b* croît avec le diamètre pupillaire de E ;

2° Le champ *a b* augmente si l'œil est hypermétrope, parce que la section (*a*1 *b*1) est faite plus près de la base du cône ; il diminue si l'œil est myope, parce que la section (*a*2 *b*2) est faite plus près du sommet (bien entendu s'il s'agit d'amétropies axiles).

b) Par le même procédé, cherchons la portion de la rétine de E, dont les points envoient dans l'œil observateur des rayons, non plus astreints à passer par le centre

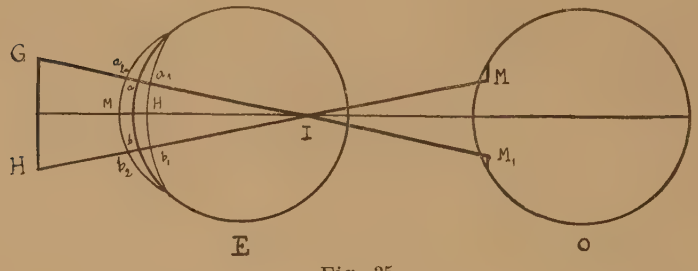

Fig. 35

de la pupille de O, mais pouvant pénétrer par toute sa surface pupillaire.

Dans ce cas, nous aboutissons à des conclusions contraires aux précédentes. Le champ *a*1 *b*1 décroît si l'œil est hypermétrope parce que la section *a b* est faite plus près du sommet du cône ; il augmente si l'œil est myope parce que la section *a*2 *b*2 est faite plus près de la base. Le champ est plus étendu, seulement les parties périphériques sont moins éclairées.

Si l'on veut avoir un champ étendu, il y a avantage à employer un mydriatique pour dilater artificiellement la

pupille de l'œil examiné et à se rapprocher autant que possible du patient. (1)

A cause de la présence des cils et du miroir interposé pour obtenir l'éclairage, il faut compter sur une distance d'au moins *trois centimètres* entre les deux pupilles, dans la méthode ophtalmoscopique dite à l'image droite. Ainsi le champ se trouvera *toujours assez limité*.

Cependant, pour examiner les différentes portions de la rétine de l'œil examiné, on peut déplacer les deux yeux (examiné et observateur) l'un par rapport à l'autre. L'observateur peut soit déplacer sa tête, soit inviter l'observé à regarder successivement dans des directions différentes.

2e Cas. — *L'œil observateur est amétrope non accommodé et l'œil examiné est emmétrope non accommodé.* — Nous supposerons l'œil observateur amétrope non accommodé et l'œil examiné emmétrope non accommodé. Si nous plaçons devant l'œil amétrope son verre correcteur, nous sommes ramenés au cas précédent. Dans le cas d'une amétropie axile, si le centre optique du verre correcteur est placé au foyer antérieur de l'œil observateur, nous savons d'après le théorème de Giraud-Teulon (page 51) que l'image rétinienne formée dans l'œil observateur amétrope, aura les mêmes dimensions que celle reçue par un observateur emmétrope. Dans tout autre cas, les dimensions de l'image rétinienne sont modifiées.

3e Cas. — *L'œil observateur est emmétrope non accommodé et l'œil examiné est amétrope non accommodé.* — Nous supposerons l'œil examiné E amétrope non accommodé et l'œil observateur O emmétrope non accommodé. Plaçons devant l'œil à examiner son verre correcteur :

(1) Un exemple familier montre que l'observateur a intérêt à se rapprocher le plus possible de l'œil examiné : pour regarder à travers le trou d'une serrure ce qui se passe dans une chambre, on place naturellement l'œil tout près du trou.

Les rayons issus d'un point de la rétine de E forment après le passage à travers le système optique de E et son verre correcteur, un faisceau de rayons parallèles, et l'observateur verra nettement la rétine de E. Nous savons que la valeur du verre correcteur dépend de la distance à laquelle il se trouve placé (page 50). Il ne faut pas oublier

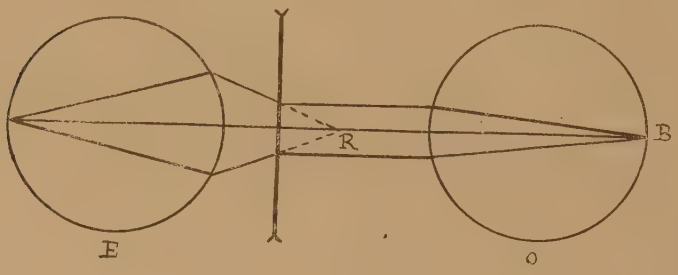

Fig. 36

cette remarque, si on veut employer la méthode ophtalmoscopique dite à l'image droite, à la détermination objective de la réfraction de l'œil à examiner. A cause de la présence du miroir, le verre employé dans l'ophtalmoscopie se trouvera placé, en général, plus loin de E que le verre correcteur habituellement porté.

Nous empruntons à M. Weiss (1) l'exemple suivant qui nous montre bien l'importance de l'erreur commise : « Je citerai un exemple pour donner une idée des erreurs que l'on peut introduire ainsi : Supposons, pour plus de simplicité, que l'observateur soit emmétrope et que, par le procédé indiqué, il trouve comme verre correcteur de l'observé — 10, cela veut dire que l'observé est corrigé par — 10, *placé à l'endroit où était ce verre lors de la détermination*, c'est-à-dire que le punctum remotum de

(1) Weiss, *Leçons d'ophtalmométrie* (cours de perfectionnement de l'Hôtel-Dieu, page 211).

cet œil myope est — 10 centimètres au delà du verre. Si, lors de la mesure, on ne s'est mis qu'à 5 centimètres de l'œil à mesurer, le punctum remotum est à 15 centimètres

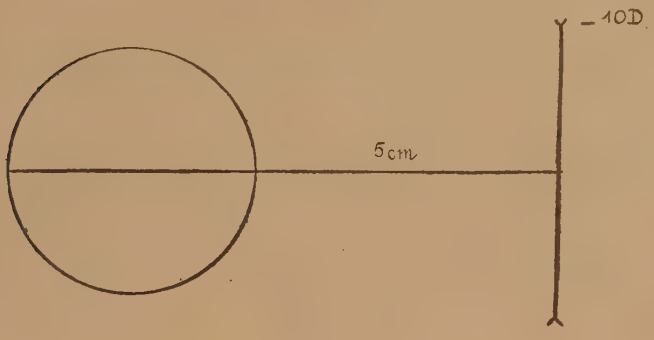

Fig. 37

de la cornée. Or, le verre correcteur se place à environ 1 cm 5 en avant de la cornée ; il faut donc lui donner une distance focale de 10 + 3,5 = 13 cm 5, ce qui donne une puissance de 7 D, 4.

» On voit que le verre correcteur qu'il faut donner à porter pour une correction parfaite est inférieur à celui que l'on a trouvé. Ceci est d'autant plus grave que nous savons que, pour la myopie, il faut se tenir notablement au-dessous de la correction..... Il faut donc toujours avoir cette cause d'erreur présente à l'esprit. »

Une autre cause d'erreur dans la détermination de la réfraction de E, serait l'accommodation de cet œil. Dans la chambre noire où aucun objet ne sollicite le regard, le sujet en général n'a pas tendance à accommoder. Si on a employé un mydriatique, cette cause d'erreur est évitée.

4° Cas. — *Les deux yeux sont amétropes non accommodés.* — Dans le cas le plus général, les deux yeux sont amétropes. Supposons ces deux yeux munis de leurs

verres correcteurs : le faisceau qui a traversé le verre correcteur de E est un faisceau de rayons parallèles. Ce faisceau de rayons parallèles réfracté par le verre correcteur et le système optique de O donne un faisceau convergent dont le sommet est sur la rétine de O. Si nous supposons les deux verres correcteurs assez rapprochés, l'un de l'autre, le système optique qu'ils forment est équivalent à un verre unique de puissance égale à la somme algébrique de ces deux verres (page 37). On peut donc les remplacer par un verre unique, à travers lequel l'observateur verra nettement la rétine de E.

Exemple : l'œil examiné myope de — 10 dioptries et l'œil observateur hypermétrope de + 3 dioptries. L'interposition entre les deux yeux d'une lentille de — 7 dioptries, fait voir nettement la rétine de l'œil examiné.

Ce procédé peut servir à la détermination de la réfraction de l'œil examiné, mais sa précision laisse beaucoup à désirer, car il y a toujours un peu d'incertitude sur les distances ; d'autre part, trop souvent les ophtalmologistes déterminent la réfraction en examinant la papille parce qu'elle est plus facile à voir que la macula. Comme la papille présente souvent une excavation physiologique, la méthode ferait juger l'œil plus myope ou moins hypermétrope qu'il ne l'est en réalité.

5e Cas. — *L'un des yeux ou les deux sont astigmates.* — *a*) Si l'œil observateur est astigmate, il corrige son astigmatisme avec son verre ordinaire.

b) Si l'œil à examiner est astigmate et si l'ophtalmoscope ne porte que des verres sphériques, on pourra réaliser la vision nette successivement dans les deux sections principales de l'œil examiné ; à chacune de ces sections principales correspond une réfraction distincte.

Si l'ophtalmoscope contient une série de verres cylin-

driques (ophtalmoscope de Parent, par exemple) on pourra obtenir une image nette du fond de l'œil, grâce à l'interposition d'un verre cylindrique éventuellement associé à un verre sphérique, à condition de déterminer par tâtonnements la puissance du verre cylindrique et l'orientation convenable. En général, dans la pratique, on a renoncé à la complication que la présence des verres cylindriques apporte à l'ophtalmoscope. Il est possible de déterminer l'astigmatisme de l'œil examiné, en mettant au point les différentes directions des vaisseaux de la rétine : « Mais il ne faut pas se dissimuler que, pratiquement, les déterminations sont très incertaines et extrêmement difficiles » (1).

Examen ophtalmoscopique a travers un système optique

(*procédé dit à l'image renversée*)

La méthode dite à l'image droite a pour elle l'avantage de la simplicité ; mais elle offre l'inconvénient de rapprocher beaucoup le visage du patient de celui de l'observateur et de ne donner qu'un champ d'observation assez restreint. L'interposition d'un système optique entre le patient et l'observateur permet de supprimer ces inconvénients. Cette seconde méthode porte le nom d'« ophtalmoscopie à l'image renversée » bien que, comme nous le verrons plus loin, il peut arriver dans certains cas que l'image observée soit droite.

1^er^ Cas.— *L'œil observateur et l'œil examiné sont emmétropes non accommodés.* — Nous examinerons d'abord le cas où les yeux observateur et examiné sont tous deux des yeux emmétropes non accommodés : alors l'interposition d'un système afocal quelconque transformant un faisceau

(1) Weiss, Leçons d'ophtalmométrie, p. 212.

parallèle en un autre faisceau parallèle, permet à l'œil observateur de voir nettement la rétine de l'œil examiné.

On réalise les systèmes afocaux les plus simples (p. 40) en associant soit deux lentilles convergentes (lunette astronomique) soit une lentille convergente et une lentille divergente (lunette de Galilée). Le système généralement employé en ophtalmoscopie est analogue à la lunette astronomique. Le schéma suivant fait comprendre facilement la marche des rayons à travers le système.

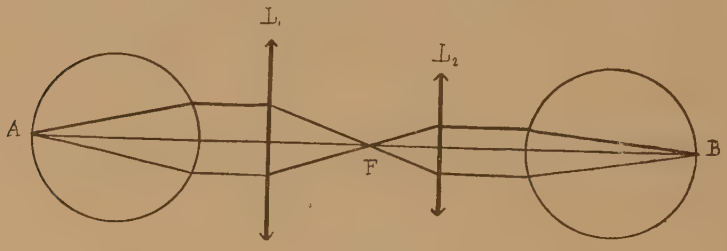

Fig. 38

L'image est renversée ; d'où le nom : d'ophtalmoscopie à l'image renversée. La distance des deux lentilles est F + f ou, en langage ordinaire, elle est égale à la somme de leurs distances focales. Le grossissement est F : f ou d : D ou en langage ordinaire : le grossissement est proportionnel à la puissance de l'oculaire et inversement proportionnel à la puissance de l'objectif.

Dans le procédé tel qu'il est appliqué couramment, l'objectif est une lentille de treize dioptries ; l'oculaire, une lentille de quatre dioptries, mais en général on supprime cette dernière lentille, l'observateur accommodant pour une distance de 25 centimètres.

Le système afocal ainsi réalisé possède un grossissement

$$G = 4 : 13$$

Les détails de la rétine de l'œil à examiner sont donc vus par l'observateur environ trois fois plus petits qu'à l'image droite ordinaire.

Si, conservant l'oculaire de quatre dioptries, nous faisons varier la puissance de l'objectif, nous obtiendrons des systèmes afocaux de grossissements différents. Ainsi, avec une lentille objective de vingt dioptries, nous avons un grossissement

$$G = 4 : 20 = 1 : 5$$

avec une lentille de dix dioptries, le grossissement serait

$$G = 4 : 10 = 2 : 5$$

enfin, avec une lentille de huit dioptries, le grossissement serait

$$G = 4 : 8 = 1 : 2$$

autrement dit, les détails de la rétine seront vus deux fois plus petits qu'à l'image droite.

De même, en conservant le même objectif, mais en changeant l'oculaire, nous pourrons obtenir des grossissements différents.

Avec une même lentille objective on double le grossissement si, au lieu d'un oculaire de quatre dioptries, on prend un oculaire de huit dioptries. Avec un objectif de huit dioptries et un oculaire de huit dioptries, le grossissement d : D devient égal à l'unité. L'observateur, dans ces conditions, voit les détails de la rétine E avec le même grossissement qu'à l'image droite. Il en est de même avec un objectif et un oculaire de puissance égale à dix dioptries. D'une manière générale, il suffit, pour obtenir un grossissement égal à l'unité, d'associer deux lentilles d'égale puissance.

Le grossissement donné par l'oculaire étant faible, il n'est pas nécessaire d'exiger de la lentille objective des

images parfaites ; on peut employer une simple lentille biconvexe. Toutefois, nous remarquerons que le docteur Polack, qui préconise la lentille objective de huit dioptries, lui a donné la forme plan-convexe pour diminuer les aberrations.

Si les deux yeux examiné et observateur, ainsi que les deux lentilles objective et oculaire, étaient rigoureusement centrés sur le même axe, les images seraient à peu près exemptes d'aberration, à condition que l'objectif et l'oculaire aient même distance focale, tout comme cela arrive pour les objectifs photographiques du type symétrique, quand ils travaillent de façon à donner une image égale à l'objet. Dans la pratique, on ne peut avoir la prétention d'obtenir des images aussi bonnes ; mais il est toujours facile d'amener le point que l'on veut bien voir à former son image dans la meilleure portion du champ, de même que, dans la vie courante, les mouvements de notre œil nous permettent d'amener sur la fovea l'image de l'objet qui attire notre attention.

Expérimentalement, on peut aisément se rendre compte des défauts que présentent les diverses parties de l'image, en examinant un œil artificiel au fond duquel on a placé une figure de forme bien connue, telle qu'un morceau de papier quadrillé millimétrique.

Si l'on tient à avoir de très bonnes images, et si on veut pouvoir avec avantage augmenter le grossissement, il faut prendre un objectif dont les aberrations soient mieux corrigées que pour la lentille sphérique simple. C'est ainsi que dans l'ophtalmoscope du docteur Thorner, l'objectif est composé d'un système de deux lentilles de même puissance, et que, dans les ophtalmoscopes du professeur Gullstrand, l'objectif est une lentille asphérique (voir p. 43). On peut alors obtenir un grossissement qui dépasse celui

de l'image droite si l'on emploie un oculaire assez puissant. L'inconvénient, c'est que l'ophtalmoscope devient encombrant et coûteux, et qu'il n'est pas aussi maniable que les ophtalmoscopes habituellement employés.

Le professeur Gullstrand emploie pour objectif une lentille asphérique ce qui diminue les aberrations, et pour oculaire un système optique analogue à un microscope qui donne une image définitive *virtuelle et droite*.

Au point de vue pratique, l'emploi d'un objectif de faible puissance n'est pas commode, à moins que l'on se serve d'un support : il faut, en effet, pour que l'observation se fasse dans de bonnes conditions, que la pupille de l'œil à examiner se trouve à une distance de l'objectif au moins égale à sa distance focale (F) comme nous le verrons au paragraphe suivant à propos du champ d'observation.

Champ d'observation :

Nous avons vu au chapitre II que pour tout instrument de construction bien étudiée, les plans de la pupille d'entrée et de la pupille de l'observateur doivent être conjugués. Quand on se sert de l'ophtalmoscope, la pupille de l'observateur coïncide sensiblement avec le trou du miroir qui se trouve à une distance f (f étant la distance focale de l'oculaire) du foyer image de l'objectif. Donc la pupille d'entrée se trouve à une distance : (en appliquant la formule de Newton)

$$\pi\,\pi' = F^2$$

$$\pi = \frac{F^2}{f} \text{ puisque } \pi' = f$$

Si F est grand, il faut tenir la lentille à une assez grande distance de l'œil. C'est pour faciliter son emploi, que la loupe de Polack est montée sur une garniture métallique qui permet de la tenir à une distance convenable de l'œil

examiné, tout en gardant le petit doigt de la main appuyé sur la tête du patient, ce qui donne plus de fixité à l'objectif.

Appliquons le principe du retour inverse comme nous l'avons fait précédemment pour l'image droite. L'interposition du système afocal donne du point P une image P1

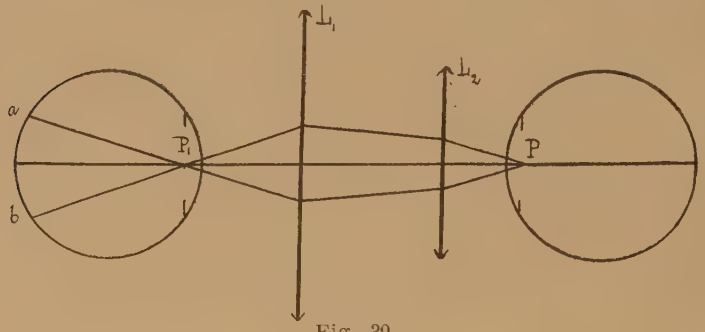

Fig. 39

qui coïncide avec le centre pupillaire de l'œil à examiner, (puisque nous avons admis que les deux pupilles étaient dans des plans conjugués.)

Le faisceau convergent de sommet P1 intercepte sur la rétine de E, une portion *a b* qui est le champ cherché (1).

Nous remarquons que l'étendue du champ est dans ce cas indépendante de la dimension de la pupille de l'œil examiné. Naturellement, avec l'éclairage habituel plus la pupille sera large, mieux le fond d'œil sera éclairé. Si la lumière entre par toute la surface de la pupille la quantité de lumière est proportionnelle au carré du diamètre. Il y a 36 fois plus de lumière pour une pupille de 6 millimètres que pour une pupille de 1 millim. de diamètre (2).

(1) Dans la figure 39 les rayons marginaux devraient s'appuyer sur le pourtour des lentilles : celles-ci par erreur ont été représentées plus grandes.

(2) L'avantage qu'offre pour l'éclairage du fond de l'œil la dilatation de la pupille n'est plus aussi sensible quand la lumière ne pénètre que par une portion de la surface pupillaire. (Cf. chap. II).

Le champ est limité par les bords de la lentille objective « aussi il est préférable, comme on fait en Angleterre, d'employer une grande lentille ». (1)

2e Cas. — *L'œil observateur est amétrope non accommodé et l'œil examiné est emmétrope non accommodé.* — Dans ce cas, le faisceau de rayons parallèles qui résulte de l'interposition du système afocal sera encore transformé finalement en un faisceau convergent ayant son sommet sur la rétine de l'œil observateur à condition que celui-ci soit armé de son verre correcteur habituel, ou bien muni d'un oculaire de puissance égale à la somme algébrique des puissances respectives du verre correcteur et de l'oculaire ordinaire.

3e Cas. — *L'œil observateur est emmétrope non accommodé et l'œil examiné est amétrope non accommodé.*

a) Si l'œil à examiner n'est pas emmétrope, nous nous trouvons dans les mêmes conditions que si nous voulions observer un objet situé à distance finie. S'il s'agit d'un œil hypermétrope, l'image virtuelle qu'il donne des détails de sa rétine joue par rapport à l'œil de l'observateur, le rôle d'un objet réel placé à distance finie. Pour en voir nettement les détails, nous devons augmenter le tirage de la lunette ; ce qui revient à éloigner l'oculaire de l'objectif. Notre système afocal se trouve ainsi transformé en *lunette-viseur* (cf. p. 41) permettant l'observation d'objet placés à distance finie. Pour conserver à l'instrument, la même longueur que dans le premier cas, il nous faudrait employer un oculaire plus puissant.

b) S'il s'agit d'un œil myope, l'image réelle qu'il donne de sa rétine, joue, par rapport à notre système d'observa-

(1) Ce n'est avantageux que si la lentille objective est exempte d'aberrations, c'est ce que fait le Dr Gullstrand.

tion, le rôle d'un objet virtuel ; nous devons, pour en avoir la vision nette, rapprocher l'oculaire de l'objectif et notre système afocal se trouve ainsi transformé en un oculaire composé négatif (cf. p. 41).

Si l'œil à examiner est très fortement myope, on peut observer sa rétine en laissant se former l'image réelle qu'en donne son système optique : il suffit pour cela d'écarter de cet œil la lentille objective ophtalmoscopique. Notre système d'observation fonctionne alors, comme un oculaire composé positif dont la puissance est plus grande et la longueur moindre que celles d'un oculaire composé négatif formé des mêmes lentilles (cf. p. 41). Il faut donc encore rapprocher l'oculaire de l'objectif ; c'est le cas envisagé par Demicheri (1).

Ces variations de la distance de l'oculaire à l'objectif sont plus accusées avec un oculaire de 10 dioptries qu'avec un oculaire ordinaire de 4 dioptries, parce que la latitude de mise au point d'un appareil diminue rapidement avec la distance focale de l'oculaire. C'est là un avantage très appréciable de l'oculaire puissant ; on peut ainsi obtenir immédiatement un renseignement sur l'état de réfraction de l'œil à examiner (2).

Remarque : Si on emploie un ophtalmoscope fixe sur pied, on peut mesurer ces variations de distance de l'objectif et de l'oculaire, et en déduire l'état de réfraction de l'œil à examiner. C'est ce qui est réalisé dans l'ophtalmoscope du docteur Thorner, où on peut lire directement, sur une règle graduée, la valeur de l'amétropie de l'œil examiné.

---

(1) Consultez Tscherning. Optique physiologique, p. 185 et 186.

(2) (Cf. L'ophtalmoscopie au centre ophtalmologique de l'Afrique du Nord. Dufour et Gaudibert, *Annales d'oculistique*, octobre novembre 1918).

Examen ophtalmologique a travers la lunette de Galilée

Théoriquement, la lunette de Galilée, étant un système afocal, permet l'examen du fond d'un œil emmétrope non accommodé. L'image définitive est droite et virtuelle.

Pratiquement, l'observation est défectueuse : le champ est très réduit, le grossissement étant supérieur à l'unité et nous savons combien un grossissement supérieur à l'unité est peu favorable quand on n'a pas affaire à des appareils fixes.

Nous pouvons remarquer que l'examen devient possible si on retourne la lunette : le grossissement devient inférieur à l'unité. Dans ce cas, on obtient aussi une image droite, mais plus petite qu'à l'image droite ordinaire (1).

La lunette terrestre peut être aussi employée comme système d'observation dans un appareil ophtalmoscopique.

Ophtalmoscopes ordinaires.

Le nombre des ophtalmoscopes actuellement construits est considérable; il serait inutile de les décrire séparément; il nous paraît logique de les ramener tous à trois types d'appareils.

1° *Ophtalmoscope simple.* — L'ophtalmoscope simple est constitué par un miroir plan ou concave percé au niveau du sommet d'un trou qui permet l'observation. Le miroir est muni d'un manche que l'observateur tient à la main, et présente sur sa face postérieure une griffe sur laquelle on peut fixer des lentilles de puissance différente destinées à la correction des amétropies. En outre, une

(1) Helmholtz, *Optique physiologique* (Traduction Joval et Klein, p. 240). — A. Broca, *Précis de Physique médicale*, p. 371.

lentille, de 13 dioptries habituellement, est destinée à l'examen dit à l'image renversée.

2° *Ophtalmoscope à disque de Recoss.* — Au lieu de la griffe primitive, un disque, portant une série de lentilles que l'observateur peut amener successivement devant son œil, est adjoint à l'appareil.

3° *Ophtalmoscope de Morton.* — Si l'on veut avoir à sa disposition un nombre plus élevé de lentilles le disque de Recoss, à cause de son diamètre, devient gênant, surtout à l'image droite où l'observateur doit se rapporcher le plus possible du patient. Morton a imaginé un dispositif portant de nombreuses lentilles que l'observateur peut faire mouvoir le long d'une glissière au lieu de faire tourner un disque.

Ophtalmoscopes divers

Ophtalmoscope électrique. — La fabrication de toutes petites lampes électriques a permis d'utiliser ces foyers lumineux en les plaçant dans l'ophtalmoscope lui-même, de façon à éclairer fortement la rétine de l'œil à examiner tout en restant invisibles pour l'observateur.

Ophtalmoscopes à plusieurs observateurs. — Comme l'a fait remarquer Giraud-Teulon, un observateur peut, en se plaçant dans le voisinage de la source lumineuse, voir une image du fond de l'œil due à la réflexion des rayons émergents sur le miroir ophtalmoscopique lui-même.

En principe il suffit de diriger vers le deuxième observateur une partie des rayons émergents à l'aide d'un miroir auxiliaire ou d'un prisme à réflexion totale convenablement placé.

Auto-ophtalmoscopie. — Les auto-ophtalmoscopes per-

mettent à un observateur d'examiner le fond de ses propres yeux. Ces appareils constituent des curiosités scientifiques plutôt que des appareils pratiquement utiles.

Ophtalmoscopie stéréoscopique ordinaire

Il y a parfois un intérêt pratique à apprécier le relief du fond de l'œil à examiner. Les déplacements parallactiques ont été utilisés pour observer les différences de niveau sur la rétine ; on a songé aussi à se servir de la vision binoculaire.

Giraud-Teulon a réalisé un ophtalmoscope binoculaire en associant au système d'observation, deux prismes à réflexion totale : l'un pour l'œil droit, l'autre pour l'œil gauche. Les phénomènes de vignettisation (Cf. p. 56) qui interviennent gênent l'observation.

Nous verrons plus loin que les méthodes d'ophtalmoscopie acentrée ont permis au professeur Gullstrand d'obtenir de très beau résultats dans le domaine de l'opthalmologie stéréoscopique sans reflets.

CHAPITRE II

L'ophtalmoscopie sans reflets ni voile

En principe, un examen ophtalmoscopique paraît chose très simple ; mais en réalité les débutants éprouvent toujours de grandes difficultés : ils voient une image entachée d'une ombre. Cette image disparaît brusquement au moindre mouvement pour être remplacée par une ombre totale. C'est là un phénomène de vignettisation.

Des considérations générales du chap. III on peut tirer immédiatement deux conclusions relatives à l'ophtalmoscopie. Il est manifeste qu'on a intérêt à supprimer la vignettisation et à réaliser un champ uniformément éclairé, et par suite éviter l'influence des fenêtres sur la limitation des rayons utiles. En conséquence, il faut que la pupille de l'œil observateur forme son image dans la pupille de l'œil examiné ; autrement, dans le système d'observation, la pupille de l'œil à examiner agirait comme une fenêtre. De plus, si l'on employait un miroir argenté percé d'un trou, ce trou agirait dans le système d'éclairage comme un écran central projetant une ombre ; dans le système d'observation, il agirait comme une fenêtre ; et, dans ces deux systèmes il produirait une vignettisation : il conviendra donc, pour que l'image obtenue ne soit pas vignettisée, d'employer non un miroir opaque percé d'un trou, mais une glace plane sans tain.

Les débutants sont aussi toujours gênés par les reflets

quand ils pratiquent un examen ophtalmoscopique. Instinctivement, les oculistes exercés savent, en déplaçant ou en tournant la lentille ophtalmoscopique objective, situer les reflets de façon à n'en être plus gênés. Mais à cause des aberrations de la lentille et de l'astigmatisme des faisceaux obliques, cette façon d'éliminer les reflets compromet les qualités optiques de l'image. En outre, si l'on veut examiner la macula, on ne peut se débarrasser du reflet qui la couvre que si la pupille a été artificiellement dilatée. La suppression des reflets constitue donc, en ophtalmoscopie, un perfectionnement sérieux.

Les reflets sont produits par la lumière réfléchie sur les faces de l'objectif, sur la cornée et sur les faces du cristallin. Cette lumière peut venir soit d'objets éclairés placés dans le voisinage, soit émaner directement de la source lumineuse employée.

1° On diminue la production des reflets en opérant dans un local fermé, tendu de noir, en plaçant la source lumineuse dans une boîte noire percée d'une ouverture qui ne laisse passer que les rayons utiles à l'examen. Certains observateurs prennent même le soin d'endosser un sarreau noir dans la salle de réfraction.

2° Pour ne plus être gênés par les reflets qui proviennent de la réflexion régulière sur les faces de la lentille objective, nous pouvons procéder de plusieurs façons :

a) Placer le miroir, qui dans ce cas pourra être une lame à faces parallèles transparente, entre la lentille objective et l'œil à examiner (ophtalmoscopes de Thorner et de Gullstrand).

b) Conserver le miroir entre l'oculaire et la lentille objective à condition d'incliner un peu celle-ci sur l'axe du système d'observation ; l'adjonction d'un élément

cylindrique compensateur à la lentille objective corrige l'effet nuisible de l'astigmatisme des faisceaux obliques (orthoscope).

c) Conserver ces reflets en les rendant tout petits et par suite peu gênants ; on prend à cet effet une source lumineuse de très petite surface. Cette source doit alors posséder un grand éclat : c'est le dispositif employé dans l'ophtalmoscope à main de Gullstrand.

3° Restent alors les reflets provenant de la réflexion régulière de la lumière sur les surfaces optiques de l'œil (cornée, cristallin). En outre, le défaut de transparence des milieux optiques de l'œil peut produire sur l'image un voile gênant.

Pour supprimer le reflet cornéen on a proposé depuis longtemps de placer contre la cornée une lame à faces parallèles, séparée de la cornée par une solution de sel marin (méthode d'immersion). On a proposé également l'emploi de la lumière polarisée. Mais la méthode qui conduit aux meilleurs résultats s'appuie sur des considérations d'optique géométrique et sur la limitation des faisceaux de rayons.

L'image sans reflets peut être voilée dans une certaine mesure par la lumière diffusée par les milieux optiques de l'œil et surtout par le cristallin. Pour éviter le voile, il faut que les espaces de rayons du système d'observation et du système d'éclairage, qui présentent tous deux un étranglement dans la pupille de l'œil à examiner, soient encore suffisamment distants l'un de l'autre dans la région où ils traversent le cristallin.

Nous allons tout d'abord chercher à exposer aussi simplement que possible le principe de cette ophtalmoscopie perfectionnée. Tout le monde sait qu'en regardant la

devanture d'un magasin, si on a le soleil derrière soi, on est gêné par les reflets de la glace de la vitrine, et on a certainement remarqué qu'on pouvait se débarrasser de ces reflets en regardant l'intérieur du magasin à travers une partie de la glace qui soit elle-même dans l'ombre.

Quand on regarde un objet placé derrière une ou plusieurs surfaces réfléchissantes, on n'est pas gêné par la lumière réfléchie si les rayons qui vont de l'objet à l'œil ne rencontrent pas ces surfaces réfléchissantes aux mêmes points que des rayons allant de la source à l'objet. Voilà le principe fondamental de l'ophtalmoscopie sans reflets.

Précisons-en un peu l'application en introduisant la notion de l'espace de rayons. Si dans un système optique on trace tous les rayons qui du premier milieu parviennent au dernier, ces rayons délimitent un espace que le professeur Gullstrand appelle l'espace de rayons du système, Si l'on veut supprimer les reflets il faut qu'aucune partie de la cornée ou du cristallin de l'œil à examiner ne soit située en même temps dans l'espace de rayons du système d'éclairage et dans l'espace de rayons du système d'observation que comporte l'ophtalmoscopie. Mais il faut bien qu'une partie du fond de l'œil soit commune aux deux espaces de rayons puisque l'observateur doit voir une portion du fond de l'œil éclairée par la lampe. Il est clair que, si cette condition fondamentale est remplie, aucune lumière provenant de la source ne pourra, après réflexion ou diffusion sur les milieux optiques de l'œil examiné, arriver à l'œil de l'observateur.

Si cette condition n'est pas exactement remplie, si, par exemple, une petite portion de la cornée est située à la fois dans l'espace de rayons du système d'observation et dans celui du système d'éclairage, le résultat sera compromis à moins qu'on n'empêche le reflet cornéen de nuire. Le

professeur Gullstrand ajoute une condition complémentaire pour assurer le succès, même au cas où la condition fondamentale ne serait qu'incomplètement satisfaite. Il considère les espaces de rayons des trois systèmes catadioptriques (p. 33) que forme la pupille d'entrée du système observateur, respectivement associée d'une part à la cornée et aux faces du cristallin fonctionnant comme surfaces réfléchissantes dans l'œil à examiner, et d'autre part à la lentille du système d'éclairage, et il pose comme condition complémentaire que la source lumineuse reste en dehors de l'espace de rayons de chacun de ces trois systèmes catadioptriques. Cela revient à dire, en langage ordinaire : la lampe doit être placée de façon à ce qu'aucun des rayons qui en émanent ne puisse, après réflexion sur la cornée ou sur les faces du cristallin, pénétrer dans la pupille de l'observateur.

On comprend aisément que la construction d'un ophtalmoscope sans reflets ni voile basé sur ces principes soit beaucoup plus compliquée que celle des ophtalmoscopes que nous employons d'ordinaire.

Nous allons voir comment ces principes ont trouvé leur application dans la pratique.

A. Appareils destinés a l'examen dit « a l'image droite »

1° *Ophtalmoscopie sans reflets à l'aide d'un ophtalmoscope ordinaire.* — Avec une source lumineuse d'un grand éclat (arc électrique, lampe Nernst, lampe à filament de tungstène) et le petit miroir à réfraction des ophtalmoscopes, on peut faire de l'ophtalmoscopie sans reflets.

Le professeur Gullstrand prend, comme source lumineuse, la lampe Nernst à fente (lampe ophtalmoscopique) dans laquelle une lentille asphérique projette sur un diaphragme en forme de fente étroite l'image d'un fila-

ment Nernst rectiligne. La surface réfléchissante employée est un miroir concave d'un rayon de courbure de 15 centimètres environ, orienté de façon à ce que le faisceau réfléchi soit perpendiculaire au faisceau incident. Le rayon incident fait alors avec la normale au miroir un angle de 45°, et on sait qu'alors les deux lignes focales sont assez éloignées l'une de l'autre, ce qui permet d'obtenir un faisceau réfléchi assez étroit et peu épanoui (cf. 43).

Dans ces conditions on obtient un bon éclairage du fond de l'œil et on peut, dans la plupart des cas, examiner la région maculaire sans dilatation préalable de la pupille. Il est possible d'éliminer complètement le reflet cornéen et d'utiliser pour l'observation la portion centrale de la pupille, ce qui est impossible dans l'ophtalmoscopie ordinaire, le reflet cornéen obligeant l'observateur à regarder à travers la portion périphérique de la pupille. Il faut, pour faire disparaître ce reflet, centrer sur la pupille l'ombre complète que projette le trou du miroir : il suffit pour cela de chercher à l'éclairer directement.

Cette méthode, à laquelle le professeur Gullstrand a donné le nom d'« ophtalmoscopie simple à l'image droite » a le grand mérite de pouvoir être appliquée avec nos ophtalmoscopes courants, à condition toutefois d'employer la source lumineuse punctiforme et de grand éclat.

Il nous semble désirable que l'usage de ces sources punctiformes et à grand éclat se répande dans les salles de réfraction de nos cliniques ophtalmologiques.

2° *Ophtalmoscope de Baum.* — Cet ophtalmoscope comprend une petite lampe placée contre un prisme à réflexion totale (page 34), et près d'un écran qui permet de n'éclairer que la moitié de la cornée de l'œil à examiner. Le tout est appliqué contre une lame percée d'un trou dont la moitié se trouve couverte par un écran qui

empêche la lumière d'arriver à l'œil de l'observateur ; par l'autre moitié, on observe le fond de l'œil à examiner à travers la portion non éclairée de sa cornée. Un disque de Recoss permet l'emploi de plusieurs oculaires.

Avec un pareil dispositif, nous ne réalisons pas la séparation absolue des espaces de rayons sur la cornée et sur les faces du cristallin ; par conséquent, les conditions théoriques ne sont qu'imparfaitement remplies. Cependant, l'appareil permet une bonne observation, il est portatif et d'un maniement extrêmement facile. La petite lampe éclairante peut être alimentée par une simple pile de poche ; si l'on dispose du courant de la ville, on se servira d'un rhéostat si le courant est continu, ou d'un transformateur (un petit Ferrix, par exemple), si le courant est alternatif comme celui de la ville d'Alger.

B. Appareils destinés a l'examen dit « a l'image renversée »

1° *Ophtalmoscope à main de Gullstrand.* — Indépendamment de son grand ophtalmoscope sans reflets ni voile que nous décrirons plus loin, le professeur Gullstrand a proposé un petit ophtalmoscope portatif qui permet de voir le fond d'œil sans reflets ni voile, sauf deux petits reflets qui prennent naissance sur les surfaces réfléchissantes de la lentille ophtalmoscopique et qui sont peu gênants.

La source lumineuse est une petite lampe à incandescente à filament métallique rectiligne que l'on peut relier à une distribution électrique à l'aide d'une résistance convenable, ou à une petite batterie d'accumulateurs. Le petit dispositif optique du tube d'éclairage projette une image du filament sur une fente qui se trouve à côté du

diaphragme à travers lequel regarde l'observateur. De cette fente les rayons lumineux vont à l'œil examiné. Une lentille ophtalmoscopique asphérique de 6 centimètres de distance focale tenue à la main devant l'œil à examiner donne dans la pupille de cet œil les images aplanétiques juxtaposées du diaphragme et de la fente. Dans le cas d'une pupille très étroite pour supprimer les reflets gênants on diaphragme la lentille ophtalmoscopique avec un diaphragme en forme de fente.

Un disque de Recoss permet de placer devant le diaphragme une série de lentilles, si on veut donner à l'image ophtalmoscopique divers grossissements.

Ces lentilles vont de + 10 D à 6 D pour l'observateur emmétrope. S'il est amétrope, il emploie un disque de Recoss correspondant à son amétropie pour faire l'examen sans verre correcteur.

Il est possible de fixer aussi dans le diaphragme le verre correcteur de l'observateur. Cela intéresse surtout l'observateur astigmate qui veut se servir de l'ophtalmoscope sans mettre ses lunettes.

Nous avons pu employer cet ophtalmoscope dans le cabinet de réfraction de notre maître, M. le professeur Dufour : son réglage est assez délicat ; aussi, nous en donnons ici la technique :

Le système optique placé dans un tube d'éclairage projette une image du filament sur la petite fente qui se trouve à l'extrémité de ce tube d'éclairage ; un prisme dévie de 90° environ le faisceau lumineux.

Pour que la fente d'où sort la lumière soit bien éclairée, il faut que le filament soit centré par rapport au système optique. Voici les conditions à remplir (1) :

(1) La lampe est construite de telle façon, que, quand elle est en place, la portion rectiligne du filament est perpendiculaire à l'axe du tube.

1° Le filament doit être parallèle à la fente ;

2° Le filament parallèle à la fente doit rencontrer l'axe optique du système ;

3° Le filament parallèle à la fente et rencontrant l'axe optique doit être à une distance du système telle que son image tombe sur la fente, et que, ainsi, la fente n'arrête pas les rayons.

Pour réaliser avec plus de facilité la première condition on commence par enfoncer assez peu la lampe dans le tube d'éclairage. Puis on place l'appareil à 10 ou 20 centimètres d'un écran vertical, la fente étant verticale et le tube d'éclairage horizontal. On reconnaît facilement à la forme de la tache lumineuse sur l'écran la direction du filament. On tourne la monture de la lampe, et avec elle le filament jusqu'à ce que l'image floue du filament soit verticale.

La tache brillante verticalement allongée se trouve dans un cercle moins éclairé qu'elle. Pour remplir la deuxième condition il faut placer cette tache lumineuse verticale au milieu de ce cercle. On y arrive en dévissant la vis puis en déplaçant la glissière.

Si on enfonce davantage la lampe dans le tube, on voit la tache lumineuse allongée s'élargir progressivement. Il faut pousser la lampe dans le tube jusqu'à ce que le champ lumineux soit à peu près circulaire et uniformément éclairé.

On peut aussi se servir d'appareils ophtalmologiques sans reflets ni voile, qui donnent d'excellents résultats (images plus nettes avec un grossissement plus fort) ; mais ils ont l'inconvénient d'être coûteux, compliqués et d'un maniement assez délicat.

1° *Ophtalmoscope de Thorner.* — Dans cet ophtalmos-

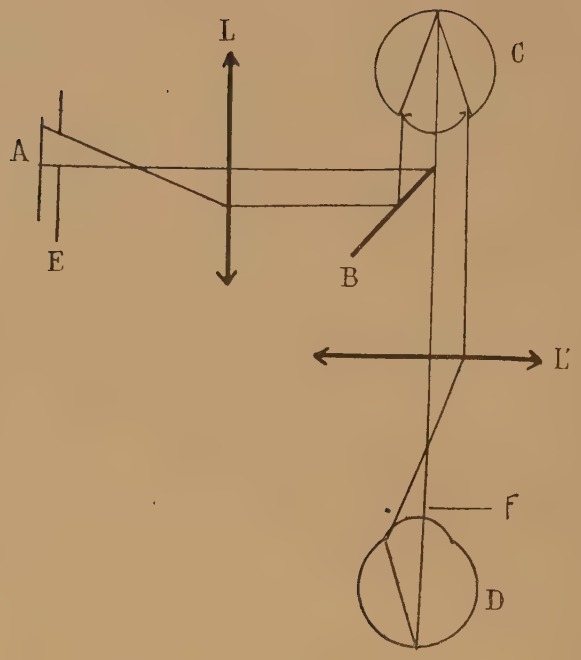

Fig. 40. — A, source lumineuse ; B, miroir ; C, œil à examiner ; D, œil observateur ; L, lentille du système d'éclairage ; L' lentille ophtalmoscopique ; E, F, deux diaphragmes à ouverture semi-circulaire.

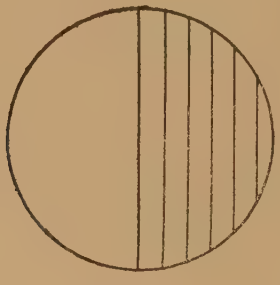

Fig. 41. — Le demi-cercle en hachures correspond à l'espace de rayon du système d'observation ; le demi-cercle sans hachures à l'espace de rayon du système d'éclairage.

cope, la pupille de l'œil à examiner, la pupille de l'observateur, et la source éclairante (A), sont respectivement dans des plans conjugués par rapport aux systèmes optiques L et L'. — Des diaphragmes semi-circulaires sont placés près de la lampe et de l'œil de l'observateur, de façon à réserver chacune des moitiés de la pupille de E soit au système d'éclairage, soit au système d'observation. Un prisme à réflexion totale (B) placé à l'extrémité du tube éclairant, renvoie la lumière dans l'œil à examiner. La source lumineuse peut être soit une lampe à pétrole, soit une lampe à incandescence électrique.

Pour obtenir un champ suffisamment étendu, il est nécessaire de dilater la pupille de l'œil à examiner, car l'étendue du champ éclairé diminue rapidement avec le diamètre pupillaire. Quand la pupille est dilatée, cet ophtalmoscope donne une image de beaucoup supérieure à celle que fournit la méthode ophtalmoscopique ordinaire dite à « l'image renversée ». Il possède un champ étendu et un grossissement comparable à celui que donne le procédé habituel dit « à l'image droite ».

Le docteur Thorner a fait construire aussi un oculaire double qui s'adapte à l'ophtalmoscope, et avec lequel on observe un relief stéréoscopique appréciable.

Dans un modèle récent, moins encombrant, plus court, plus portatif, les deux systèmes d'éclairage et d'observation sont parallèles. La lentille objective est remplacée par un miroir concave sur lequel les rayons se réfléchissent sous une incidence légèrement oblique. Le système afocal est ici comparable à un télescope catadioptrique. Grâce à la réflexion sur un miroir plan, les rayons traversent l'appareil trois fois dans sa longueur, ce qui permet de raccourcir le tube de deux tiers. La suppression des reflets est obtenue comme dans l'ophtalmoscope précédent.

2° *Ophtalmoscope de Gullstrand sans reflets ni voile.* — L'étude approfondie de la suppression des reflets et de la

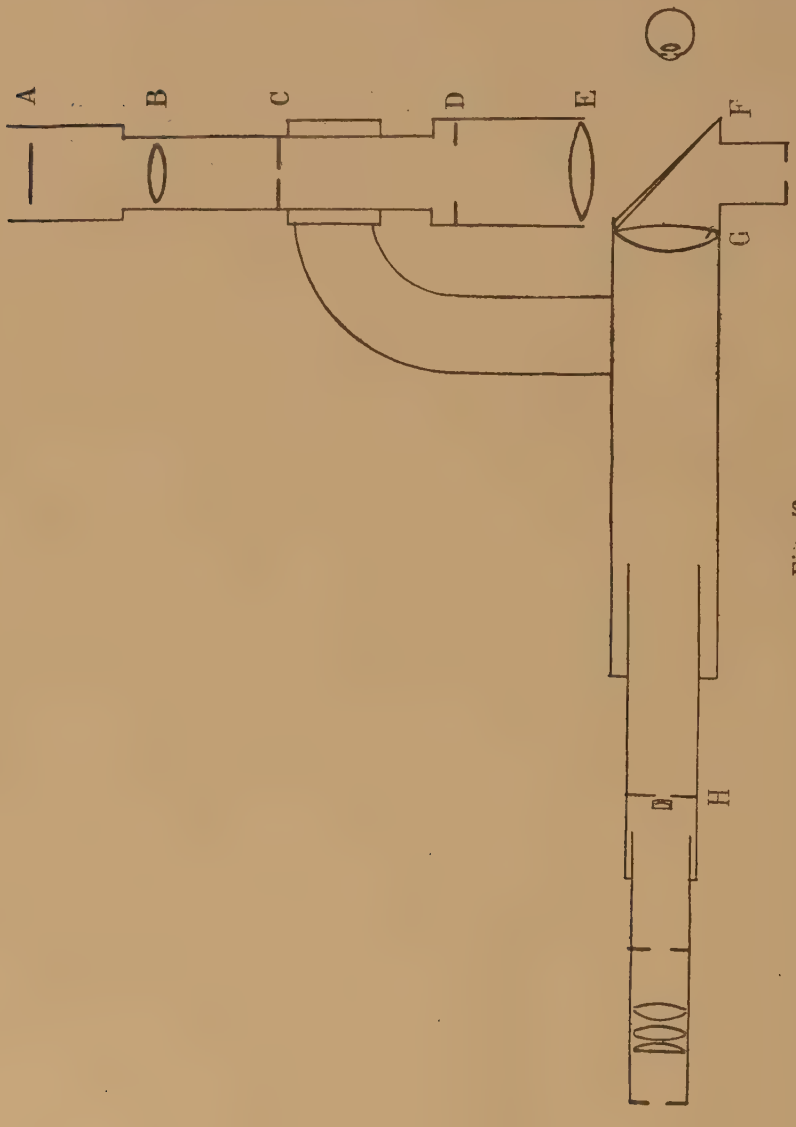

Fig. 42

luminosité des images a permis au professeur Gullstrand d'obtenir de meilleurs résultats avec un appareil muni des derniers perfectionnements techniques : lentilles asphériques et lampe Nernst à fente.

Nous décrirons successivement le système d'éclairage et le système d'observation :

a) Système d'éclairage. — Une lentille (B) donne sur la fente d'un diaphragme (C) une image réelle du filament de la lampe Nernst (A). Les rayons lumineux émanés de cette fente éclairée sont reçus sur une deuxième lentille asphérique (E) et réfléchis par le miroir dans la direction de l'œil à examiner. Le miroir (F) est constitué par une lame prismatique de très petit angle (15 minutes d'arc environ) et présentant en son milieu une épaisseur maxima de 1 milim. 5. Cette lame prismatique est calculée de façon à ce que les images données par ses deux faces réfléchissantes soient vues dans la même direction. L'appareil est réglé de telle sorte que cette image se forme dans le plan de la pupille de l'œil à examiner.

Fig. 43

b) Système d'observation. — L'objectif est une lentille asphérique (G) qui donne, avec le système optique le l'œil

à examiner une image réelle et renversée du fond de cet œil. Grâce à ses qualités optiques, cette image peut supporter un fort grossissement : on l'examine à l'aide d'un véritable microscope (1).

L'appareil est réglé de façon que la pupille d'entrée de l'œil observateur et la pupille d'entrée de l'œil à examiner soient dans des plans conjugués.

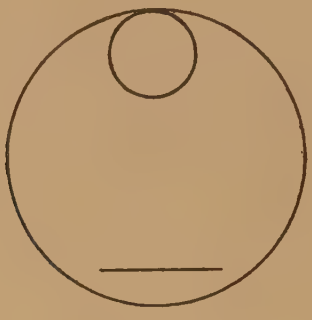

Fig. 44

Le système d'observation est horizontal alors que le système d'éclairage est vertical.

Le réglage de l'appareil est assez délicat ; pour le réaliser, on s'appuie sur le principe du retour inverse des rayons lumineux. Une fois le réglage obtenu, le maniement de l'appareil est très simple.

---

(1) Quand l'image de la pupille de l'observateur est centrée sur la pupille d'entrée de l'œil à examiner (fig. 43) on fait selon l'expression de M. Gullstrand de l'*ophtalmoscopie centrée*, et, c'est quand cette condition est réalisée que l'on obtient les images les plus parfaites au point de vue optique, et que par suite on peut obtenir avec avantage le plus fort grossissement. Mais, en formant excentriquement l'image de la pupille de l'observateur dans la pupille d'entrée de l'œil à examiner, on peut obtenir un champ plus étendu ; c'est ce que M. Gullstrand appelle l'*ophtalmoscopie acentrée* (fig. 44).

3° *Ophtalmoscope stéréoscopique sans reflets ni voile de Gullstrand.* — Pour faire de l'ophtalmoscopie stéréoscopique, on remplace le microscope monoculaire par une lunette binoculaire à prismes : Les oculaires de cette

Fig. 45

lunette peuvent être éloignés l'un de l'autre à volonté, suivant l'écartement des yeux de l'observateur. Le relief stéréoscopique obtenu à l'aide de cet appareil est parfait, et très supérieur à celui qu'on obtient avec l'ophtalmoscope de Thorner. Pour l'examen stéréoscopique, il est nécessaire que la pupille soit très dilatée (1).

Avec des lentilles complémentaires, on peut voir nettement le fond d'œil chez des sujets fortement hypermétropes, les opérés de cataractes, par exemple, ou chez des myopes dont l'amétropie se trouve corrigée par un verre concave inférieur à 36 D.

---

(1) Quand on fait l'ophtalmoscopie stéréoscopique, le grossissement ne doit pas dépasser le grossissement que donne la méthode à l'image droite ordinaire; en effet, à cause de la position excentrique des images des pupilles d'entrée de l'observateur (fig. 45), l'image ophtalmoscopique est moins pure que dans l'ophtalmoscopie centrée et il n'y a pas avantage à l'agrandir beaucoup.

*

4° Orthoscope.

Nous allons décrire enfin un ophtalmoscope fixe sans reflets que nous ne connaissons que par la simple description (1) qu'en donne le constructeur :

Dans cet instrument, qui a reçu le nom d'*orthoscope*, la suppression des reflets sur la lentille ophtalmoscopique objective s'obtient en inclinant légèrement cette lentille sphérique sur l'axe du système d'observation. L'astigmatisme ainsi introduit par son obliquité est neutralisé par un élément cylindrique compensateur.

L'instrument est réglé de façon à ce que le faisceau éclairant présente un étranglement au niveau de la pupille de l'œil à examiner qu'il traverse dans sa région marginale. On élimine ainsi le reflet cornéen.

Résultats obtenus

L'ophtalmoscopie sans reflets ni voile a déjà donné des résultats intéressants. Nous empruntons le passage suivant au professeur Gullstrand (2) :

« En faisant de l'ophtalmoscopie centrée à un fort grossissement, il m'est souvent arrivé de découvrir de petites altérations qui m'avaient échappé avec la méthode ordinaire employée auparavant, et que parfois la méthode à l'image droite ordinaire me permettait de retrouver ensuite. Mais, dans un certain nombre de cas, j'ai vu, avec mon ohptalmoscope, des détails que je n'ai pu retrouver ensuite à l'image droite ordinaire. Je citerai comme exemple un cas de myopie, où l'examen pratiqué dans les

(1) Catalogue de George Spiller de Londres.

(2) A. Gullstrand *Die reflexlose Ophtalmoskopie Arch. f. Augenheilkunde*, 1911, p. 141 et 142. — (M. Dufour, L'ophtalmoscopie sans reflets ni voile, Société française d'ophtalmologie, Congrès de 1912).

conditions habituelles ne montrait qu'une fine moucheture dans le pigment de la macula ; le grossissement plus fort de mon ophtalmoscope résolvait cette moucheture en un beau dessin semblable à une carte géographique que l'on voyait à l'intérieur du grand reflet annulaire.

« En faisant de l'ophtalmoscopie stéréoscopique j'ai pu dès le début reconnaître que la rétine présente, au voisinage de la papille, des différences d'épaisseur considérables : il existe une relation entre cette épaisseur et l'excavation de la papille. Dans les cas de grande excavation centrale, la rétine est en général beaucoup plus mince au voisinage de la papille que dans les autres régions, et inversement, quand il n'y a pas d'excavation physiologique, on observe un épaississement de la rétine qui va en décroissant vers la périphérie. La région papillaire apparaît alors comme exhaussée sur une étendue de trois diamètres papillaires ou parfois même davantage. L'excavasion glaucomateuse est accompagnée d'un amincissement de la rétine. Dans un cas de glaucome, où le champ visuel d'un œil ne présentait qu'un scotome central, l'autre œil présentant des altérations ordinaires du champ visuel, on voyait, sur la portion temporale de la papille, un amincissement prononcé de la rétine en forme de gouttière. Dans certains stades avancés de glaucome, j'ai observé une dépression de la rétine en forme d'entonnoir aplati. Dans un cas où l'œil montrait une asymétrie verticale prononcée et où la séparation des vaisseaux sur la papille était manifestement asymétrique par rapport au plan horizontal, j'ai trouvé une différence notable dans l'épaisseur de la rétine au-dessus et au-dessous de la papille A des exsudats récents de choroïdite correspondent des reliefs surprenants de la rétine, et l'image ophtalmoscopique peut même ressembler à une carte en relief d'un

pays montagneux. Le relief de la papille elle-même est extraordinairement facile à apercevoir dans les conditions physiologiques. Au bout de quelque temps, ces impressions de relief se répétant, on acquiert de la papille une idée toute autre que celle que l'on avait auparavant, et qui correspond bien davantage à l'image que l'on voit en examinant à la loupe un œil coupé ».

CONCLUSIONS

1° Les dénominations habituelles de procédé à l'image droite et de procédé à l'image renversée commodes et suffisantes au temps où l'oculiste n'avait à sa disposition que des ophtalmoscopes à main courants, elles ne correspondent plus à une classification rationnelle depuis la réalisation du grand ophtalmoscope de Gullstrand, qui dérive du procédé dit à l'image renversée et donne une image droite.

Il nous semble que ces expressions peuvent être remplacées par d'autres, qui nous paraissent plus logiques, et que nous avons adoptées au cours de ce travail :

a) Examen ophtalmoscopique simple (procédé dit à l'image droite) ;

b) Examen ophtalmoscopique à travers un système optique (procédé dit à l'image renversée).

2° Les reflets et le voile altèrent l'image ophtalmoscopique, rendent l'examen difficile et lui enlèvent sa précision. Avec moins de peine et plus de rapidité pour l'observateur, l'examen peut être rendu plus précis à l'aide d'ophtalmoscopes spéciaux qui éliminent les reflets et le voile.

3° Sans nous astreindre à l'emploi d'appareils encombrants et coûteux, nous pouvons améliorer les conditions de l'examen et par suite la précision des résultats obtenus si en conservant les ophtalmoscopes habituels, nous supprimons toute lumière étrangère et si nous employons une

source lumineuse de très petite surface éclairante, mais de grand éclat, ce qui est possible, aujourd'hui, avec les progrès réalisés dans la construction des lampes électriques. Avec ces lampes de grand éclat et de faible surface éclairante on pourrait diminuer la surface réfléchissante du miroir ophtalmoscopique et par suite l'étendue du reflet.

Index Bibliographique

AVERTISSEMENT. — Notre sujet comporte une bibliographie très vaste. Nous ne donnerons que la liste des travaux qui ont servi à la rédaction de cette thèse.

H. Armagnac. — Un nouvel ophtalmoscope électrique (Société française d'Ophtalmologie, volume xxx, 1913).

D'Arsonval, Gariel, Chauveau, Marey. — Traité de Physique biologique (Tome II).

J. Blein. — Optique géométrique.

Bouasse. — Optique géométrique élémentaire.

— Construction, description et emploi des appareils de mesure et d'observation.

A. Broca. — Précis de Physique Médicale.

M. Dufour. — Quelques renseignements sur les verres de lunettes et leur emploi.

— Sur les récents progrès de la dioptrique oculaire (*Annales d'oculistique*, septembre 1910).

— Les verres correcteurs envisagés comme instruments d'optique (*Annales d'oculistique*, août 1911).

— L'ophtalmoscopie sans reflets ni voile (Société française d'Ophtalmologie, Congrès 1912).

— Deux ophtalmoscopes sans reflets ni voile (Cours de perfectionnement de l'Hôpital Lariboisière).

M. Dufour et J. Gaudibert. — L'ophtalmoscopie au Centre ophtalmologique de l'Afrique du Nord (*Annales d'oculistique*, octobre-novembre 1918).

Gariel. — Etudes d'optique géométrique.

A. Gullstrand. — Neue Methoden der reflexlosen Ophtalmoscopie Bericht der Ophthalmologischen Gesellschaft, année 1910.

— Die reflexlose Ophtalmoskopie arch. f. Augenheilkunde, 1911, p. 141 et 142 (M. Dufour, l'*Ophtalmoscopie sans reflets ni voile*, Société française d'Ophtalmologie, Congrès de 1912).

Helmholtz. — Optique physiologique (Trad. de Javal et Klein).

Lagrange. — Encyclopédie française d'ophtalmologie. T. III.

Raibaud. — Instruments d'optique, d'observation et de mesure.

(von) Rohr. — Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten vom Standpunckte der geometrischen Optik (Chapitre IX).

Rollet. — Traité d'ophtalmoscopie.

Tscherning. — Optique physiologique.

Thorner. — Die Theorie des Augenspiegels und die Photographie des Augenhintergrundes.

Wecker (de) et Landolt. — Traité d'Ophtalmologie.

Wecker (de) et Masselon. — Ophtalmoscopie Clinique.

Weiss. — Précis de Physique Médicale.

— Leçons d'ophtalmométrie. — Cours de perfectionnement de l'Hôtel-Dieu.

Vu :

Le Président de Thèse,

Alger, le 4 mars 1919.

Dr DUFOUR.

Vu :

Le Doyen,

Dr CURTILLET.

Vu et permis d'imprimer :

Alger, le 5 mars 1919.

Le Recteur,

E. ARDAILLON.

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS 17

INTRODUCTION 19

PREMIÈRE PARTIE

Optique géométrique

CHAPITRE I. — Insuffisance de la théorie ordinaire..... 23

CHAPITRE II. — Rappel des notions fondamentales 29

CHAPITRE III. — Le rôle des diaphragmes 53

DEUXIÈME PARTIE

Ophtalmoscopie

CHAPITRE I. — Principes généraux de l'ophtalmoscopie. — Les ophtalmoscopes ordinaires 69

CHAPITRE II. — L'ophtalmoscopie sans reflets ni voile..... 91

CONCLUSIONS 109

INDEX BIBLIOGRAPHIQUE 111

ALGER — TYPOGRAPHIE JULES CARBONEL — ALGER

ALGER — TYPOGRAPHIE JULES CARBONEL — ALGER